

HELSINGIN KAUPPAKORKEAKOULU



STOKASTINEN OPTIMOINTI METALLIYHTIÖN  
JOHDANNAISPORTFOLION HALLINNASSA  
– Case Outokumpu Zinc

HELSINGIN  
KAUPPAKORKEAKOULUN  
KIRJASTO

9162

Liikkeenjohdon systeemit  
pro gradu -tutkielma  
Antti Salakka 70489-0  
Syksy 2003

Kansantaloustieteen laitoksella 28 / 8 2003 hyväksytty arvosanalla  
erinomainen (80 p.).

prof. Markku Kallio

assistentti, KTM Matti Koivu

20.8.2003

STOKASTINEN OPTIMOINTI METALLIYHTIÖN  
JOHDANNAISPORTFOLION HALLINNASSA  
– Case Outokumpu Zinc

**Tavoitteet**

Tutkielman tavoitteena oli hyödyntää stokastista optimointia rakentamalla pilottimalli, jolla etsitään metalliyhtiölle optimaalinen johdannaisportfolio. Sekundäärisenä tavoitteena oli pilottimallin sopivuuden arviointi johdon suojauspäätösten tukijärjestelmänä sekä mallin jatkotutkimusmahdollisuuksien pohtiminen.

**Tutkimusmenetelmät**

Tutkielmassa esitettiin johdatus riskienhallintaan ja käytiin läpi tyypillisimmät johdannaisinstrumentit sekä niiden hinnoittelu. Lisäksi tutkimuksessa käytettävän mallin taustaksi esitettiin stokastisen optimoinnin teorian peruskäsitteet. Rakennetussa pilottimallissa käytettiin tietoa johdannaisten kassavirroista sekä optimoitaessa stokastisen optimoinnin menetelmiä.

**Tulokset**

Stokastisen optimoinnin menetelmät osoittautuivat käyttökelpoisiksi metalliyhtiön johdannaisportfolion hallinnassa. Vaikka pilottimalli on todellisuudesta yksinkertaistettu, voidaan rakennettua mallia jo nyt käyttää johdannaisportfolion hallintastrategiana. Huolimatta siitä, että saadut tulokset ovat esimerkinomaisia yhdeltä päivältä, osoittavat ne kokonaisvaltaisen suojaamisen tärkeyden sekä johdannaisten tehokkuuden riskienhallinta-instrumentteina.

Tulokset rohkaisevat jatkamaan mallin kehittämistä ja sen implementointia yrityksen käyttöön. Jatkotutkimuksen kannalta tärkeimpiä asioita ovat sähkön hinnan mallintaminen ja sähköjohdannaisten lisääminen johdannaisportfolioon sekä oikean johdannaisdatan käyttö.

**Avainsanat:** sinkin hintariski, valuuttakurssiriski, johdannaisportfolio, stokastinen optimointi

## Sisällysluettelo

<b>1</b>	<b>Johdanto.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Johdatus riskienhallintaan.....</b>	<b>3</b>
2.1	Riskienhallinta käsitteenä .....	3
2.2	Rahoitusriskit .....	4
2.3	Riskienhallintaan käytettävät johdannaiset.....	5
2.3.1	Perusjohdannaistyytit.....	5
2.3.2	Johdannaisten arvonmääritys .....	8
2.3.3	Johdannaisten käyttötarkoitus.....	10
2.3.4	Suojaaminen johdannaisilla.....	11
<b>3</b>	<b>Johdatus stokastiseen optimointiin .....</b>	<b>14</b>
3.1	Konvekssi optimointi.....	14
3.2	Stokastinen optimointi.....	15
<b>4</b>	<b>Empiirinen malli .....</b>	<b>18</b>
4.1	Case Outokumpu Zinc.....	18
4.1.1	Sinkin tuotanto yleisesti.....	18
4.1.2	Sinkin hintariskin muodostuminen.....	21
4.1.3	Valuuttakurssiriskin muodostuminen .....	21
4.1.4	Tuloksen muodostuminen case -yrityksessä.....	22
4.1.5	Johdannaisten käyttö case -yrityksessä .....	23
4.2	Aikasarjamalli .....	23
4.2.1	Geometrinen Brownian liike (GBM) .....	24
4.2.2	Mean-reversion malli .....	25
4.2.3	Valuuttakurssien mallintaminen.....	26
4.2.4	Sinkin hinnan mallintaminen.....	28
4.2.5	Valuuttakurssien ja sinkin hinnan estimointi.....	30



<b>4.3</b>	<b>Optimointimalli .....</b>	<b>34</b>
4.3.1	<i>Skenaariopuu ja mallin rakenne.....</i>	35
4.3.2	<i>Mallin rajoitukset .....</i>	36
4.3.3	<i>Mallissa käytettävät tavoitefunktiot.....</i>	38
4.3.4	<i>Mallin johdannaisdata .....</i>	41
4.3.5	<i>Parametrit ja skenaarioiden generointi .....</i>	42
<b>5</b>	<b>Tulokset.....</b>	<b>45</b>
<b>5.1</b>	<b>Mallin tulosten esittely.....</b>	<b>45</b>
5.1.1	<i>Suojaamaton tulos .....</i>	45
5.1.2	<i>Outokummun nykyisen suojausstrategian mukainen tulos .....</i>	47
5.1.3	<i>Tulos suojattuna kvadraattisen sakkotavoitefunktion mukaisesti .....</i>	49
5.1.4	<i>Tulos suojattuna kvartaalipoikkeamasta sakottavan tavoitefunktion mukaisesti .....</i>	53
5.1.5	<i>Muutoksen keskihajonnan kehitys eri tavoitefunktioiden mukaan.....</i>	55
5.1.6	<i>Suojauskustannukset.....</i>	56
<b>5.2</b>	<b>Tuloksiin liittyviä ongelmia .....</b>	<b>56</b>
5.2.1	<i>Puutteellinen johdannaisdata.....</i>	56
5.2.2	<i>Malliriski ja tutkimuksen luotettavuus.....</i>	57
<b>5.3</b>	<b>Mallin jatkotutkimus.....</b>	<b>59</b>
<b>6</b>	<b>Yhteenveto .....</b>	<b>61</b>
<b>7</b>	<b>Lähteet .....</b>	<b>64</b>



## Kuvaluettelo:

Kuva 1: Tuotot eri eurooppalaisen option positioista.....	8
Kuva 2: Skenaariopuu .....	15
Kuva 3: Outokumpu Oyj:n sinkkituotantoon liittyvä tuloksen muodostumisprosessi .....	20
Kuva 4: Mean-reversion prosessi .....	26
Kuva 5: Euron ja Norjan Kruunun hinta US-dollareissa 1979–2003 .....	28
Kuva 6: Sinkin hinta US-dollareissa 1979–2003 .....	29
Kuva 7: Aikasarjamallilla generoidut euron hinnat US-dollareissa vuonna 2003.....	33
Kuva 8: Aikasarjamallilla generoidut Norjan kruunun hinnat US-dollareissa vuonna 2003.....	33
Kuva 9: Aikasarjamallilla generoidut sinkin tonnihinnat US-dollareissa vuonna 2003 .....	34
Kuva 10: Mallin skenaariopuun rakenne.....	35
Kuva 11: Ennustettu kvartaalikohtainen tulos vuodelle 2003 ilman johdannaisten käyttöä .....	46
Kuva 12: Ennustettu kvartaalikohtainen tulos, sinkki suojaamatta, tunnetut valuuttariskit suojattu.....	48
Kuva 13: Ennustettu kvartaalikohtainen tulos, sinkki suojaamatta, valuutat suojattu optimaalisesti.....	50
Kuva 14: Ennustettu kvartaalikohtainen tulos vuodelle 2003 optimaalisesti suojattuna.....	52
Kuva 15: Ennustettu kvartaalipoikkeamasta sakottavan tavoitefunktion mukaisesti suojattu tulos.....	54
Kuva 16: Yhteenveto tuloksen muutoksen keskihajonnan kehityksestä eri tavoitefunktioiden mukaan .....	55
Kuva 17: Yhteenveto tuloksen odotusarvon kehityksestä eri tavoitefunktioiden mukaan .....	62
Kuva 18: Yhteenveto tuloksen keskihajonnan kehityksestä eri tavoitefunktioiden mukaan.....	62

## Taulukkoluetelo:

Taulukko 1: Aikasarjamallin kerroinmatriiseille estimoidut parametrit.....	31
Taulukko 2: Mallissa käytetyt johdannaisten ja nollakuponkilainojen toteutushinnat.....	42
Taulukko 3: Determinististen parametrien lukuarvot.....	43
Taulukko 4: Johdannaisportfolion koostumus täydellisen valuuttasuojauksen mukaisesti .....	47
Taulukko 5: Johdannaisportfolion koostumus optimaalisen valuuttasuojauksen mukaisesti .....	49
Taulukko 6: Johdannaisportfolion koostumus kvadraattisen sakkotavoitefunktion mukaisesti .....	51
Taulukko 7: Johdannaisportfolion koostumus poikkeamasta sakottavan tavoitefunktion mukaisesti.....	53
Taulukko 8: Suojauskustannusten vaikutus yrityksen nettotulokseen (MEUR).....	56

## 1 Johdanto

Vaikka johdannaisia on käytetty rahoitusriskien suojaamiseen 1970-luvulta alkaen, lienee usealle yritykselle vielä epäselvää hyödyntävätkö ne johdannaisia tehokkaasti sekä parantaako käytetty johdannaisportfolio todella yrityksen tulosta. Näyttää siltä, että varsinkin pörssiyrityksille on usein tärkeää hyvän tuloksen lisäksi myös tasaisen tulokasvun esittäminen. Johdannaisportfolion optimoinnilla pyritään löytämään kombinaatio, joka minimoi riskejä maksimoiden samalla tuottoja.

Tärkein case-yrityksen tulokseen vaikuttava tekijä on metallien jalostuspalkkiot. Sinkin pörssihinta vaikuttaa merkittävästi yrityksen saamiin jalostuspalkkioihin. Sinkin hinnan lisäksi US-dollarin ja euron välinen valuuttakurssi heijastuu Outokumpu Oyj:n tulokseen (Outokumpu 2002). Hakalan (Vice President -Risk Management, Outokumpu Oyj) mukaan yli 2/3 markkinahintojen aiheuttamista Outokummun tulosheilaheluista on selitettävissä US-dollarin, sinkin ja sähkön hintojen muutoksilla.

Stokastinen optimointi on optimointia epävarmuuden vallitessa. Sen perusfilosofia on etsiä tämän päivän päätöksille ratkaisu, joka on hyvä riippumatta siitä, mikä skenaario tulevaisuudessa tapahtuu. Stokastinen optimointi antaa enemmän tietoa epävarmuustekijöiden vaikutuksesta mallin ratkaisuun kuin deterministisen mallin ratkaisu. (Ziemba & Mulvey, 1998)

Aikaisemman tutkimuksen myötä on olemassa runsaasti tietoa stokastisen optimoinnin sovellusmenetelmistä. Vaativiin portfolio-ongelmiin ovat Suomessa perehtyneet mm. Ainassaari, Kallio ja Ranne (1997) sekä Hilli, Koivu, Pennanen ja Ranne (2003) tutkiessaan eläkevakuutusyhtiöiden varojen ja vastuiden hallintaan. Maailmalla sijoitus- ja johdannaisportfolion hallintaan stokastisen optimoinnin avulla on perehtynyt mm. Dembo ja Rosen (1999).



Tämän pro gradu -tutkielman tavoitteena on hyödyntää stokastista optimointia rakentamalla pilottimalli, jolla voidaan etsiä metalliyhtiölle optimaalinen johdannaisportfolio. Sekundäärisenä tavoitteena on pilottimallin sopivuuden arviointi johdon suojauspäätösten tukijärjestelmänä sekä mallin jatkokehittämismahdollisuuksien pohtiminen.

Tutkielman kannalta on tärkeää ymmärtää, että termiineillä suojaaminen ei välttämättä paranna yrityksen taloudellista tulosta. Karkeasti voidaan olettaa, että termiineillä suojaaminen johtaa 50 % todennäköisyydellä huonompaan lopputulokseen kuin suojaamatta jättäminen, koska tällöin sijoittaja ei pääse nauttimaan omaisuuserän positiivisista hintamuutoksista (Hull, 1999). Stokastisen optimoinnin tavoitteena on minimoida riskiä maksimoiden samalla tuottoja. Suojauksessa etsitään tällöin kombinaatio joka täyttää molemmat tavoitteet valitun tavoitefunktion mukaisesti.

Tutkielmassa esitetään lukijalle johdatus riskienhallintaan ja stokastiseen optimointiin. Teoriaosuuden perustella rakennetaan pilottimalli, jolla optimoidaan johdannaisportfolion koostumusta. Tutkielman 2. luvussa esitetään johdatus riskienhallintaan ja käydään läpi johdannaisinstrumenttien hinnoittelu, johdannaisten käyttö sekä niillä suojaaminen. Johdatus stokastisen optimoinnin teoriaan ja sen peruskäsitteet esitetään luvussa 3.

Luku 4 käsittelee empiiristä mallia. Luvussa esitellään case-yritystä ja sen sinkkiliiketoimintaa. Tutkielmassa keskitytään yrityksen kohtaamiin sinkin ja valuuttakurssien markkinariskeihin. Mallin rakentaminen alkaa stokastiikan määrittelyllä. Luvussa 4.2 määritetään aikasarjananalyysiä hyväksikäyttäen stokastinen prosessi sinkin hinnalle sekä Norjan kruunu että Euro / US-dollarin vaihtokursseille. Luvussa 4.3 esitetään skenaariopuu, optimointimalli ja sen rajoitukset. Viidennessä luvussa esitetään optimointimallin tulokset. Tulosten avulla pohditaan stokastisen optimoinnin hyödyllisyyttä ja rakennetun mallin rajoituksia sekä esitetään ajatuksia mallin kehittämiseksi. Luvussa 6 tehdään yhteenveto tuloksista sekä esitetään tutkielman johtopäätökset.



## **2 Johdatus riskienhallintaan**

Varsinkin taloudellisten taantumien aikana riskienhallinta on eräs yritystoiminnan kulmakivistä. Toimiva riskienhallinta varmistaa yrityksen toiminnan jatkuvuuden. Johdannaiset ovat tehokkaaseen rahoitusriskienhallintaan suunniteltuja instrumentteja. Riskeistä puhuttaessa yhtenäinen terminologia vähentää kommunikaatiovirheitä. Luvussa 2.1 käydään riskienhallintaa läpi käsitteenä, luvussa 2.2 käsitellään riskienhallinnan terminologiaa ja luvussa 2.3 keskitytään empiirisen mallin kannalta oleellisiin riskienhallintaan käytettäviin johdannaisiin.

### **2.1 Riskienhallinta käsitteenä**

Aikaisimmat viittaukset riskienhallintaan löytyvät ajalta 3000 vuotta ennen ajanlaskun alkua, jolloin Kiinalaiset kauppiat jakoivat lastinsa keskenään useisiin laivoihin merirosvouden, lastin laidan yli heittämisen tai haaksirikon varalta. Luottoriski havaittiin keskiajalla, kun rahanlainaajat rajoittivat yksilölle lainattavan rahan määrää suhteessa arvioituun takaisinmaksukykyyn. Laajemmassa mittakaavassa riskienhallinnan voidaan katsoa alkaneen 1667, jolloin Lontoossa esiteltiin maailman ensimmäisen palovakuutus. (Kanto, 2002)

Jorionin (2002) mukaan nykyaikainen riskienhallinta on prosessi, missä erilaiset riskit tunnistetaan, analysoidaan ja kontrolloidaan. Riskienhallinnalla on kaksi tuotosta: riskien ymmärtäminen sekä niiden hallinta. Rahoitusteoriassa riskillä tarkoitetaan yleensä odotetun tuoton todennäköisyysjakauman keskihajontaa eli volatiliteettia.

Riskienhallinnassa on ymmärrettävä, että liike-elämässä riski synnyttää tuottoja. Päätöksentekijän on valittava mitä riskejä halutaan välttää ja miten, mitä riskejä ollaan valmiita hyväksymään ja millaisilla ehdoilla sekä mitä riskejä otetaan yrityksen ydinosaamisalueella. Riskienhallinta ei tarkoita riskien täysivaltaista eliminointia. (Jorion, 2002)

Riskienhallinnan tavoitteena on estää yrityksiä ottamasta liian suuria riskejä suhteessa yrityksen riskinkantokykyyn. Tätä toiminnan jatkuvuuden turvaamista voidaan pitää riskienhallinnan perustehtävänä. Perustehtävän lisäksi riskienhallinnan tavoitteena on ohjata yrityksen toimintaa kohti parempia päätöksiä. (Jauri, 1997)

## 2.2 Rahoitusriskit

Rahoitusteoriassa riskit jaetaan yleisesti *liikeriskeihin*, *strategisiin riskeihin* ja *rahoitusriskeihin*. Liikeriskillä tarkoitetaan aluetta, missä yritys luo kilpailuetua sekä lisäarvoa osakkeenomistajille eli yrityksen ydinosaamisaluetta. Strateginen riski merkitsee Jorionin (2002) mukaan taloudellisesta ja poliittisesta ympäristöstä aiheutuvia riskejä, joita vastaan on vaikea suojautua, jakamatta liiketoimintaa useille aloille ja useisiin maihin. Rahoitusriskit jaetaan tyypinsä mukaan viiteen eri luokkaan: *markkinariskit* (market risks), *luottoriskit* (credit risks), *likviditeettiriskit* (liquidity risks), *operationaaliset riskit* (operational risks) ja *oikeusriskit* (legal risks).

Markkinariskillä tarkoitetaan pääomaerien, kuten osakkeen hinnan vaihtelusta aiheutuvaa riskiä. Luottoriski syntyy kun vastapuoli, luotonsaaja, ei pysty tai halua täyttää velvoitteitaan luotonantajaa kohtaan. Likviditeettiriski aiheutuu joko rahoitusinstrumenttien transaktiosta tai yrityksen käteisvarantojen loppumisesta. Likviditeettiriski syntyy siis, kun transaktiota ei voida suorittaa ohuilla pääomamarkkinoilla ilman, että pääomaerän hinta oleellisesti muuttuu, tai kun yritys ei pysty maksamaan velvoitteitaan käteisvarannosta, vaan joutuu realisoimaan muuta omaisuuttaan täyttääkseen velvoitteensa. Operationaalisella riskillä tarkoitetaan laajasti kaikkea muuta paitsi rahoitus- ja likviditeettiriskiä. Operationaalinen riski syntyy esimerkiksi ohjelmisto-, malli- tai ihmisvirheistä, valvonnan puutteista tai johdon epäonnistumisesta. Oikeusriskistä on kyse silloin, kun vastapuolella ei ole valtuuksia tekemäänsä toimenpiteeseen. Oikeusriskin realisoituminen saattaa johtaa luottoriskiin.

Puhuttaessa markkinariskeistä, valuuttakurssiriskillä tarkoitetaan epävarmuutta tulevasta valuutan hinnasta mitattuna toisessa valuutassa. Yrityksen toimintaan vaikuttava



valuuttakurssiriski voidaan jakaa kolmeen komponenttiin. *Transaktioriskillä* tarkoitetaan valuuttakurssiriskiä, joka realisoituu, kun aiemmin sovitut ulkomaanvaluutan määräiset kassavirrat toteutuvat muuttuneilla valuuttakursseilla myöhempanä ajankohtana. *Ekonominen riski* tarkoittaa reaalisen valuuttakurssin vaihtelun vaikutuksia yrityksen taloudelliseen asemaan ja kilpailukykyyn pitkällä aikajänteellä. *Translaatoriski* ilmenee tytä- ja osakkuusyhtiöiden kirjanpitoarvojen vaihteluna mitattuna konsernin kotivaluutassa. Tässä tutkielmassa valuuttakurssiriskillä tarkoitetaan nimenomaan transaktioriskiä.

Sinkin hintariski voidaan jakaa kahteen komponenttiin. *Kassavirtariskillä* tarkoitetaan sitä, että yksikön kustannuspohja ei ole sidottu tulopuoleen. *Fair value* – riski liittyy varastotasojen heilahteluun ja on kertavaikutteinen. Valuuttakursseihin ja sinkin hintaan vaikuttavista tekijöistä keskustellaan lisää aikasarjamallin yhteydessä luvussa 4.2.

## **2.3 Riskienhallintaan käytettävät johdannaiset**

Johdannaiset ovat tehokkaaseen rahoitusriskienhallintaan suunniteltuja instrumentteja. Johdannaissopimuksia voidaan yleisesti pitää sopimuksina, joiden arvo riippuu kohde-etuuden tulevasta kassavirrasta, referenssikorosta tai indeksistä (osake- valuutta tai joukkovelkakirjaindeksi). Johdannaissopimukset sisältävät osto- tai myyntilupauksen yksityiskohtaisesti sovitusta määrästä esimerkiksi tiettyä valuuttaa ennalta määrättyyn hintaan. Optioilla suojaamista voidaan pitää identtisenä toimenpiteenä vakuutusten ottamiselle. Ne tarjoavat suojaa muuttujan (valuuttakurssi, hinta jne.) haitallista vaikutusta vastaan yli liiketoiminta- ja maarajojen. (Jorion 2002, 11–12)

### **2.3.1 Perusjohdannaistyypit**

Johdannaisia on käytetty 1970-luvulta asti. Johdannaisten perustyyppinä ovat *termiinit*, *futuurit* ja *optiot*. Termiini on tavallisin johdannaissopimus, joka tarkoittaa yksinkertaistettuna, että termiinin ostaja saa termiinin myyjältä maksuaikaa. Termiinisopimusta voidaan pitää vastakohtana käteissopimukselle (spot).



Termiinisopimuksia myydään over-the-counter (OTC) markkinoilla, yleensä kahden finanssi-instituution tai asiakkaan ja pankin välillä.

Terminikaupassa toinen johdannaissopimuksen osapuolista ottaa pitkän (long) position ja suostuu ostamaan kohde-etuuden ennalta sovittuna päivänä ennalta sovittuun hintaan. Toinen osapuolista ottaa lyhyen (short) position ja suostuu myymään saman etuuden samana päivänä samaan hintaan. Termiinihintana pidetään *lunastushintaa* eli *sopimushintaa* (strike price, contract price), joka on sopimuksen tekohetkellä valittu niin, että termiinisopimuksen arvo molemmille osapuolille on nolla. Lopullinen termiinisopimuksen kassavirta määräytyy erääntymispäivän hinnan mukaan. Oletetaan, että  $K$  on lunastushinta ja  $S_T$  on kohde-etuuden hinta erääntymispäivänä, niin tällöin kassavirta pitkän position haltijalle on  $S_T - K$  ja lyhyen position haltijalle taas  $K - S_T$ . Jos oletetaan, ettei sopimuksen tekohetkellä aiheudu transaktiokustannuksia, niin kassavirta on sama kuin kokonaisvoitto tai -tappio.

Futuuri on termiinin kaltainen mutta pörssinoteerattu ja standardoitu johdannaissopimus. Kun termiineillä käydään kahden välistä kauppaa, toimii futuureiden markkinapaikkana johdannaispörssi. Kaupan mahdollistamiseksi futuurien ominaispiirteet ovat standardoidut. Suurimmat johdannaispörssit ovat *Chicago Board of Trade* (CBOT) ja *Chicago Mercantile Exchange* (CME). Sinkkijohdannaisilla käydään kauppaa *London Metal Exchangessa* (LME). Jotta futuuri kauppaa voidaan käydä suoraan pörssien kautta, täytyy sijoittajan täyttää pörssin asettamat kriteerit kuten vakavaraisuus- ja vakuusvaatimukset. Toisin kuin termiinit, futuurit noteerataan päivittäin, joten myös voitot ja tappiot realisoituvat joka päivä.

Optio antaa haltijalleen mahdollisuuden, mutta ei velvoitetta ostaa tai myydä option perustana olevan hyödyke (kohde-etuus) sovittuun lunastushintaan. Perus *osto-optio* antaa haltijalleen mahdollisuuden ostaa ja *myyntioptio* mahdollisuuden myydä kohde-etuus. Sopimuksen toteutuspäivä on nimeltään *erääntymispäivä*. *Eurooppalaisen option*

haltija voi toteuttaa sen ainoastaan erääntymispäivänä. *Amerikkalaisen option* voi taas toteuttaa koska vain liikkeelle laskupäivän jälkeen.

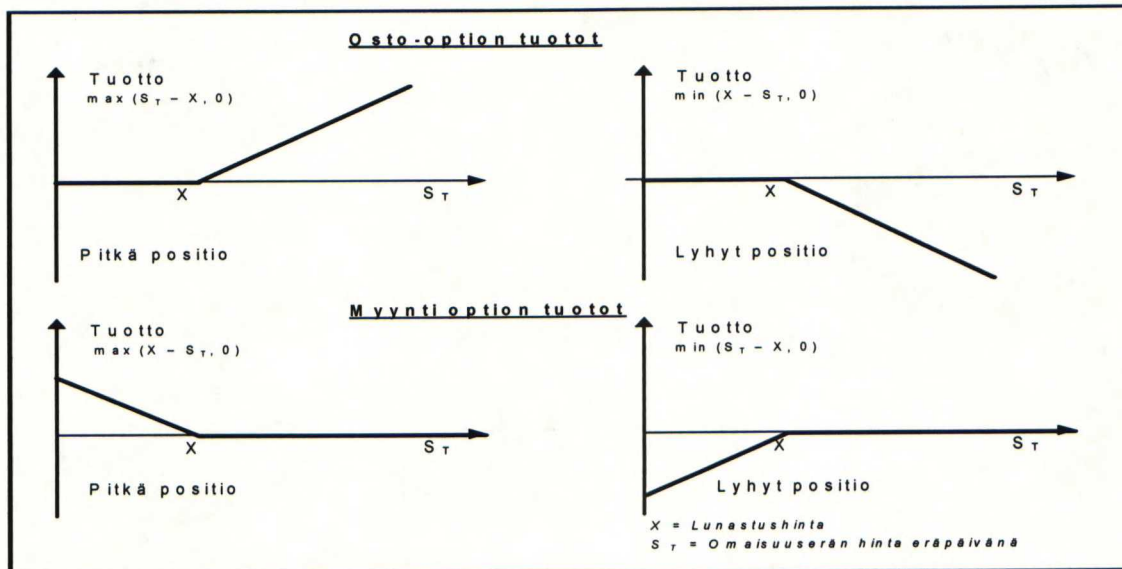
Option ostaja (haltija), joka on ottanut pitkän position maksaa myyjälle (asettaja), joka on ottanut lyhyen position, preemion eli option hinnan. Asettaja saa tuoton heti mutta joutuu mahdollisesti vastaamaan velvoitteistaan myöhemmin. Option haltijalle on neljä mahdollista positiota: pitkä positio osto-optiossa, pitkä positio myyntioptiossa, lyhyt positio osto-optiossa ja lyhyt positio myyntioptiossa. Yleensä yksinkertaistuksen vuoksi tarkastellaan eurooppalaisia optiota, jotka voidaan toteuttaa ainoastaan erääntymispäivänä.

Oletetaan, että option haltijan asettajalle maksama preemio jätetään huomiotta ja option lunastushintaa merkitään  $X$ :llä sekä kohde-etuuden hintaa erääntymispäivänä  $S_T$ :llä, tällöin eurooppalaisen pitkän position osto-option tuotto on (Hull, 1999, 6):

$$\max (S_T - X, 0) \quad (2.1)$$

Yhtälö 2.1 osoittaa, että optio toteutetaan vain jos  $S_T > X$  ja jätetään toteuttamatta, jos  $S_T \leq X$ . Kuva 1 havainnollistaa eri perusoptioiden tuottoja.

Kuva 1: Tuotot eri eurooppalaisen option positiosta



Lähde: Hull, 1999, 9

### 2.3.2 Johdannaisten arvonmääritys

Rahoitusteoriassa valuuttatermiinien hintaa mallinnetaan yleisesti tunnetulla korkopariteetilla. Merkitään sopimuksen käteishintaa  $S_0$ :lla ja termiinihintaa  $F_0$ :lla. Kotimaan (USA) riskittömänä korkona  $r$  voidaan pitää USA:n valtion sijoitustodistuksia (T-bill) ja ulkomaisena riskittömänä korkona  $r_f$  Euroopan keskuspankin Euribor-korkoa, vaikkakin Euribor heijastaa pankkiriskiä ja T-bill valtion riskiä. Jatkuva-aikaisesti laskettua erääntymispäivää merkitään  $T$ :llä. Tällöin käteishinnan ja termiinihinnan välinen suhde on (Hull, 1999, 68):

$$F_0 = S_0 e^{(r-r_f)T} \quad (2.2)$$

Hyödyketermiinin hinta on johdettavissa kaavasta 2.2. Hyödykekaupassa on huomioitava koron lisäksi myös varastointikustannusten nykyarvo  $U$ . Tällöin hyödykesopimuksen käteishinnan ja termiinihinnan välinen suhde on (Hull, 1999, 71):

$$F_0 = (S_0 + U)e^{rT} \quad (2.3)$$



Optioiden teoreettinen arvo muodostuu niiden perus- ja aika-arvon perusteella. Perusarvolla tarkoitetaan option kassavirtaa. Option aika-arvo on seurausta siitä, että kohde-etuuden hinta heilahtelee ja heilahtelujen myötä option hinta voi nousta tulevaisuudessa. Option aika-arvo vähenee, kun option jäljellä oleva voimassaoloaika lyhenee.

Optioiden arvon määrittämiseen on kehitetty erilaisia teoreettisia malleja. Näistä rahoitusteoriassa tunnetuin on Black-Scholes-malli (BS-malli). Mallin mukaan option arvo riippuu kohde-etuuden arvosta, lunastushinnasta, riskittömästä korosta, erääntymisajasta ja kohde-etuuden hinnan standardipoikkeamasta. Eurooppalaiselle valuuttaosto-option  $c$  ja valuuttamyyntioption  $p$  arvo voidaan esittää seuraavasti (Hull, 1999, 284):

$$c = S_0 e^{-r_f T} N(d_1) - X e^{-r T} N(d_2) \quad (2.4)$$

$$p = X e^{-r T} N(-d_2) - S_0 e^{-r_f T} N(-d_1) \quad (2.5)$$

missä

$$d_1 = \frac{\ln(S_0 / X) + (r - r_f + \sigma^2 / 2)T}{\sigma \sqrt{T}}$$

ja

$$d_2 = \frac{\ln(S_0 / X) + (r - r_f - \sigma^2 / 2)T}{\sigma \sqrt{T}} = d_1 - \sigma \sqrt{T}$$

sekä  $S_0$  on valuutan nykyinen vaihtokurssi,  $X$  on option lunastushinta,  $r$  on kotimaan (USA) riskitön korko (T-bill) muunnettuna jatkuvalla korkolaskulla vuotuiseksi,  $r_f$  on ulkomaan (euroalue) riskitön korko (Euribor) muunnettuna jatkuvalla korkolaskulla vuotuiseksi,  $T$  on option voimassaoloaika vuosina,  $\sigma$  vastaa tuoton standardipoikkeamaa

sekä  $N(d_1)$  ja  $N(d_2)$  kuvaavat todennäköisyyksiä sille, että satunnainen otos normaalijakaumasta jää arvojen  $d_1$  ja  $d_2$  alapuolelle.

Valuuttaoptioiden hinnoittelu malli on sama kuin osinkoa maksavan osakeoption hinnoittelumalli, missä ulkomainen riskitön korko korvataan osinkotuotolla. BS-malliin liittyvään teoriaan voi tutustua laajemmin Black & Scholesin (1973) tutkimuksessa *The Pricing of Options and Corporate Liabilities*.

### 2.3.3 Johdannaisten käyttötarkoitus

Hullin (1999) mukaan johdannaisia voidaan käyttää kolmeen eri tarkoitukseen: *suojaamiseen, spekulointiin ja keinotteluun*. Suojaamisesta on kyse esimerkiksi silloin, kun yritys saa myynnin kassavirtana ulkomaan rahaa tiettyinä tulevaisuuden hetkenä ja suojautuu valuuttakurssiriskiltä ottamalla sitä vastaan termiinisopimuksella lyhyen position. Vastaavalla tavalla ottamalla pitkä positio voidaan suojata ostosta aiheutuvaa riskiä. Myös optioita voidaan käyttää suojautumisinstrumentteina.

On huomioitava, että termiineillä ja optioilla suojautumisessa on perustavaa laatua oleva ero. Termiinisopimukset ovat suunniteltuja neutralisoimaan riski kiinnittämällä hinta, jonka suojaaja joutuu maksamaan tai saa maksuna kohde-etuudesta. Optiosopimukset vastaavasti toimivat vakuutuksina. Ne tarjoavat sijoittajalle suojaa haitallista hintamuutosta vastaan kuitenkin antamalla mahdollisuuden hyötyä suosiollisesta hintamuutoksesta. Optioiden tuotto on epälineaarinen kun taas termiinien tuotto lineaarinen.

Toinen johdannaisia käyttävä ryhmä ovat spekulantit. Kun suojaajat haluavat välttää joutumasta alttiiksi haitalliselle hintavaihtelulle, haluavat spekulantit ottaa position markkinoilla. He ”lyövät vetoa”, että markkinat joko nousevat tai laskevat ja hyödyntävät täten kurssimuutoksia. Termiinit ja optiot ovat spekulanteille samanlaisia instrumentteja, jotka tarjoavat hyötyä velan vipuvaikutuksesta. Tappion määrässä instrumentit eroavat

toisistaan. Futuureilla tappiota ei ole rajattu, kun taas option haltijan maksimitappio on optiosta maksettu preemio.

Keinottelijat ovat kolmas tärkeä johdannaisilla kauppaa käyvä ryhmä. Keinottelijat etsivät arbitraasivoittoja samanaikaisesti eri markkinoilta. Arbitraasia esiintyy esimerkiksi, kun samaa instrumenttia myydään sekä Lontoon että New Yorkin pörssissä eri hinnalla. Keinottelija ostaa tällöin instrumenttia toisesta pörssistä ja myy toisessa. Keinottelijoiden takia arbitraasimahdollisuus ei kovin pitkään markkinoilla säily. Samanlainen arbitraasimahdollisuus voi löytyä myös johdannaisen ja sen kohde-etuutena olevan omaisuuserän hinnan eroavaisuudesta. Transaktiokustannus rajoittaa yleensä arbitraasimahdollisuutta. (Hull, 1999, 11–14)

#### *2.3.4 Suojaaminen johdannaisilla*

Aiemmin tässä tutkielmassa on todettu, että yritys voi suojata tulevia kassavirtoja termiinisopimuksilla ottamalla joko pitkän tai lyhyen position. On kuitenkin huomioitavaa, että termiinisopimuksilla suojaaminen ei välttämättä paranna yrityksen taloudellista tulosta. Karkeasti voidaan olettaa, että termiineillä suojaaminen johtaa 50 % todennäköisyydellä huonompaan lopputulokseen kuin suojaamatta jättäminen. Termiinisuojaus pienentää riskiä kiinnittämällä tulevan kassavirran tietylle tasolle.

Hull (1999, 35) kirjoittaa, että on olemassa lukuisia syitä, miksi termiinisopimukset eivät käytännössä täysin toimi.

1. Suojattava pääomaerä ei ole täysin sama kuin termiinisopimuksen kohde-etuus.
2. Suojaajalla ei ole tiedossa tarkkaa päivämäärää, jolloin pääomaerä myydään tai ostetaan.
3. Suojaus saattaa vaatia, että termiinisopimus suljetaan ennen sen erääntymispäivää.



Edellä mainittuja ongelmia nimitetään *perusriskiksi* (basis risk). Suojaamistilanteessa perusriski on määritelty seuraavasti:

$$\text{perusriski} = \text{suolettavan omaisuuserän käteishinta} - \text{tehdyn termiinisopimuksen hinta}$$

Jos suolettava omaisuuserä ja termiinisopimuksen kohde-etuus ovat samat, perusriski toteutuspäivänä on nolla. Koska termiinisopimuksella on aika-arvoa, perusriski ennen toteutuspäivää voi olla positiivinen tai negatiivinen riippuen kohde-etuuden oletetusta hintakehityksestä. Kun käteishinta nousee enemmän kuin termiinihintaa, perusriski lisääntyy. Tätä kutsutaan perusriskin vahvistumiseksi. Jos taas termiinihintaa nousee käteishintaa enemmän, perusriski vähenee. Tätä kutsutaan perusriskin heikkenemiseksi.

Sijoitusomaisuuksilla kuten valuutat, osakeindeksit ja kulta perusriski on yleensä hyvin pieni koska, niiden käteis- ja termiinihintaa korreloivat voimakkaasti. Sijoitusomaisuuksien perusriski johtuu yleensä epävarmuudesta korkomarkkinoilla. Hy dykkeill  kuten, öljy, maissi tai sinkki on sijoitusomaisuutta selvästi suurempi perusriski. Tämä johtuu esimerkiksi kysynnän ja tarjonnan epätasapainosta tai hyödykkeen varastoinnin vaikeudesta. (Hull, 1999)

On huomioitavaa, että perusriski voi johtaa joko suolettuspositiion parantumiseen tai huononemiseen. Otetaan esimerkiksi lyhyt suolettuspositiio. Jos perusriski yllättäen vahvistuu, paranee suolettajan positiio, kun taas heikkeneminen huonontaa suolettajan positiota. Pitkässä suolettuspositiiossa tilanne on päinvastainen.

Hullin (1999, 37) mukaan eräs perusriskiiin vaikuttavista avainkysymyksistä on suolettukseen käytettävien termiinisopimusten valinta. Valinnassa on kaksi komponenttia: *kohde-etuuden* ja *toimituskuukauden* (delivery month) valinta. Valinta on helppo, jos markkinoilta löytyy instrumentti, jonka kohde-etuus on sama kuin suolettava omaisuuserä. Jos instrumenttia ei ole olemassa, on tarkasti harkittava minkä olemassa olevan termiinisopimuksen hintaa korreloi eniten suolettavan omaisuuserän hinnan kanssa.

Toimituskuukauden valintaan vaikuttaa useita tekijöitä. Eräs tärkeimmistä tekijöistä on täytäntöönpanopäivä. Jos suojattavana omaisuuserän täytäntöönpanopäivä on sama kuin johdannaisen toimituspäivä, valinta on helppo. Jos päivät eroavat, valitaan käytännössä usein johdannainen, jonka toimituspäivä on myöhempi kuin omaisuuserän täytäntöönpanopäivä. Tämä johtuu siitä, että termiinihinnat ovat yleensä erittäin volatilisissa toimituskuukauden aikana. (Hull, 1999)

Yleisesti perusriski lisääntyy kun aikaero täytäntöönpanopäivän ja toimituspäivän välillä kasvaa. Hullin (1999) mukaan valitaan toimituspäivä niin lähelle täytäntöönpanopäivää kuin mahdollista mutta myöhäisemmäksi. Tällöin oletetaan, että markkinoilla on tarpeeksi instrumentteja täyttämään suojaajan tarpeet. Käytännössä likviditeetti eli instrumenttien määrä on suurimmillaan lyhyen maturiteetin termiinisopimuksilla. Tämän takia joissain tapauksissa suojaaja voi olla halukas käyttämään lyhyen maturiteetin termiinisopimuksia vierittämällä niitä ajassa eteenpäin ja luomalla näin pidemmän suojauksen.



### 3 Johdatus stokastiseen optimointiin

Stokastisella optimoinnilla tarkoitetaan optimointiongelmaa epävarmuuden vallitessa. Deterministisessä mallissa parametrit ovat tunnettuja. Luvussa 3.1 käydään lyhyesti läpi konveksia optimointia ja luvussa 3.2 tutustutaan stokastisen optimoinnin peruskäsitteisiin. Molemmat luvut perustuvat suurimmilta osin Ainassaaren, Kallion ja Ranteen (1997) raporttiin *An Asset Management Model for a Pension Insurance Company*.

#### 3.1 Konvekxi optimointi

Tarkastellaan seuraavaa konveksia optimointiongelmaa:

$$\max_{x \in X} f(x) \tag{3.1}$$

ehdolla

$$g_i(x) \geq 0 \text{ kun } i = 1, \dots, k$$

$$h_j(x) = 0 \text{ kun } j = 1, \dots, l$$

missä  $X$  on konvekxi ja suljettu  $R^n$ :n osajoukko,  $f$  ja  $g_i$  ovat konkaaveja funktioita ja  $h_j$  affiini funktio, jotka ovat määritelty joukossa  $X$ . Funktio  $f$  on tavoitefunktio ja  $x$  päätösmuuttujien vektori. Ongelma on ratkaistu muuttujien  $x_1, \dots, x_n$  arvoilla, jotka täyttävät rajoitukset ja maksimoivat tällöin funktion  $f$  arvon.

Vektoria  $x \in X$ , joka täyttää rajoitukset kutsutaan ongelman käyväksi ratkaisuksi ja käypien ratkaisujen joukkoa käyväksi alueeksi. Käypien ratkaisujen alue on oletusten vallitessa konvekxi joukko. Ongelmana on siis löytää käypä ratkaisu  $\bar{x}$ , jolle  $f(\bar{x}) \geq f(x)$  kaikilla käyvillä ratkaisuilla  $x$ . Jos tällainen ratkaisu  $\bar{x}$  on olemassa, niin se on ongelman

optimaalinen ratkaisu. Jos on olemassa muitakin optimaalisia ratkaisuja, eli ratkaisu ei ole yksikäsitteinen, kutsutaan näitä vaihtoehtoisiksi optimiratkaisuiksi.

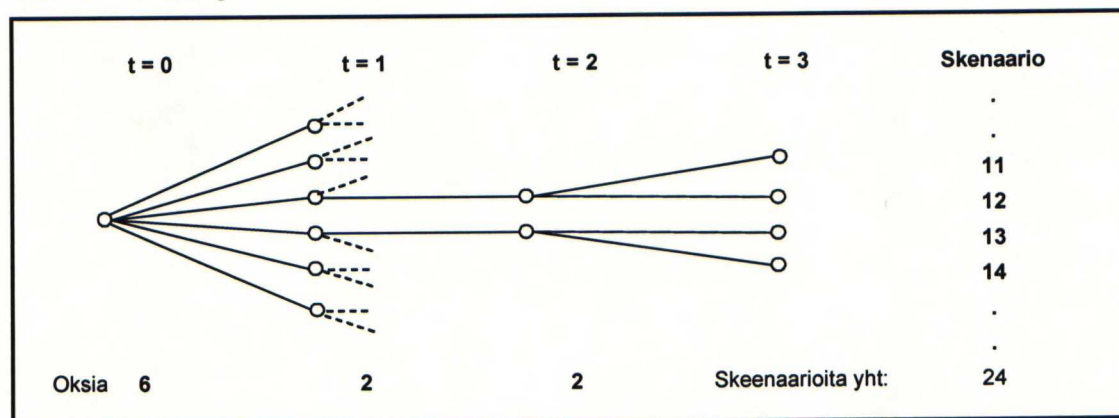
Laajemmin konveksin optimoinnin teoriaan ja menetelmiin voi tutustua esimerkiksi Rockafellarin (1970) ja Bazaaran sekä Shettyn (1979) kirjoissa.

### 3.2 Stokastinen optimointi

Edellä esitetty deterministinen malli tuottaa optimaalisen ratkaisun yksille parametrien arvoille. Mikäli parametrien arvoja tulevaisuudessa ei optimointihetkellä tiedetä, joudutaan deterministisessä mallissa turvautumaan approksimaatioon kaikista mahdollista parametrien arvoista. Näin deterministinen malli ei ota epävarmuutta eksplisiittisesti huomioon.

Dantzig ja Madansky (1961) esittivät stokastisen optimoinnin lähestymistavan, mikä mallintaa epävarmuutta determinististä mallia tarkemmin. Stokastisessa mallissa epävarmuutta kuvataan skenaariopuulla. Kuvassa 2 oleva skenaariopuu kuvaa epävarmojen tulevaisuuden tapahtumien ajoituksen ja järjestyksen.

Kuva 2: Skenaariopuu





Skenaariopuu alkaa yhdestä solmusta, jota nimitetään juurisolmuksi. Tämä solmu kuvaa alkuhetken arvoja, esimerkiksi yrityksen tulosta hetkellä 0. Solmusta erkanevat oksat kuvaavat epävarmoja tulevaisuuden tiloja esimerkiksi valuuttakurssien ja sinkin hinnan kehitystä. Seuraavalla periodilla  $t = 1$  oksat erkanevat lisää. Prosessi jatkuu kunnes saavutetaan aikajakson viimeinen periodi. Täten jokainen skenaario on polku juuresta latvaan, mikä kuvaa yhtä mahdollista skenaariota  $\omega$  todennäköisyydellä  $p_\omega$  siten, että  $\sum p_\omega = 1$ . Skenaarioiden lukumäärä voidaan selvittää tulona eri ajanhetkillä erkanevista oksista. Esimerkiksi kuvassa 2 skenaarioiden määrä on  $6 \times 2 \times 2 = 24$ .

Skenaariopuussa solmukohdat jakavat aikahorisontin periodeihin  $t$  siten, että  $t = 0, 1, 2, \dots, T$ . Aikahorisontti voisi vaihdella skenaariosta toiseen mutta yleensä yksinkertaisuuden vuoksi valitaan ajanjaksot yhtä pitkiksi kussakin skenaariossa. Puhuttaessa monivaiheisesta stokastisesta optimoinnista on jokaisen periodin alussa mahdollisuus tehdä päätöksiä esimerkiksi johdannaisportfolion koostumuksesta. Mikäli päätöksiä tehdään vain juurisolmussa kuten case -esimerkissä, on kyseessä yksivaiheinen stokastinen optimointi. Mikäli solmu mallintaa epävarmuutta ilman, että siihen sisältyy mahdollisuus muokata portfolion koostumusta, kutsutaan sitä satunnaissolmuksi.

Alussa päätöksentekijä ei tiedä missä skenaariossa hän on. Tämän vuoksi päätösten on oltava identtisiä hetkellä  $t = 0$ . Näin siksi, että käsillä oleva informaatio on sama koskien jokaista skenaariota, eikä ole mitään syytä tehdä erilaisia päätöksiä. Tehtävien päätösten kuvan 2 vaiheessa  $t = 2$  skenaarioille 11 ja 12 on oltava samoja samoin kuin tehtävien päätösten skenaarioille 13 ja 14. Yleisesti voidaan määritellä informaatiojoukko  $I_\omega^t$ , jossa polku skenaariopuun alusta periodin  $t$  alkuun vastaa skenaariota  $\omega$ . Jos kaksi skenaariota  $\omega$  ja  $\nu$  kuuluvat samaan informaatiojoukkoon  $I_\omega^t$ , niin päätös ajanjakson  $t$  alussa on molemmille sama.

Aritmeettisessa tarkastelussa merkitään  $x_\omega^t$  päätösmuuttujien vektorina ajanjaksolla  $t$  ja skenaariossa  $\omega$ . Määritellään yleinen päätösvektori  $x \in R^n$  siten, että se koostuu

päätösmuuttujista  $x_\omega^t$  kaikilla  $t$  ja  $\omega$ . Kuten luvussa 3.1 todettiin, voidaan määritellä konkaavi tavoitefunktio  $f(x)$ , jonka avulla arvioidaan eri päätösvaihtoehtoja  $x$ . Tämän lisäksi määritellään tavoitefunktio skenaariokohtaisten tavoitefunktioiden odotusarvona. Skenaariokohtaiset tavoitefunktiot ovat ajanjaksoittain erilliset. Toisin sanoen, jos  $f'(x_\omega^t)$  on periodin  $t$  tavoitefunktio, niin koko skenaarion tavoitefunktio on  $\sum_t f'(x_\omega^t)$ . Näiden oletusten vallitessa ja skenaariotodennäköisyyksillä  $p_\omega$  monivaiheinen stokastinen optimointiongelma on muotoa:

$$\max \sum_\omega p_\omega \sum_t f'(x_\omega^t) \quad (3.2)$$

ehdolla

$$A_\omega^t x_\omega^{t-1} + B_\omega^t x_\omega^t = b_\omega^t \quad \forall \omega \text{ ja } t, (x_\omega^{-1} \equiv 0)$$

$$l_\omega^t \leq x_\omega^t \leq u_\omega^t \quad \forall \omega \text{ ja } t$$

$$x_\omega^t = x_v^t \quad \forall \omega \text{ ja } v \in I_\omega^t$$

missä  $A_\omega^t$  ja  $B_\omega^t$  ovat datamatriiseja sekä  $b_\omega^t$ ,  $l_\omega^t$  ja  $u_\omega^t$  ovat ongelma datan vektoreita kaikille  $t$  ja  $\omega$ .

Von Neumannin ja Morgensternin (1947) hyötyteorian käyttö on yleisesti hyväksyttyä epävarmuutta mallintavissa taloustieteen malleissa. Tällöin stokastisen optimoinnin tavoitefunktiona maksimoidaan yleensä hyödyn odotusarvoa. Hyötyteorian mukaan päätöksentekijä voi asettaa rahamääräiset tulokset paremmuusjärjestykseen niistä saatavan hyödynodotusarvon mukaisesti. Päätöksentekijän riskiaversio (riskin karttamisen aste) kertoo päätöksentekijän suhtautumisesta riskiin. Yleisesti on todistettu, että useimmat päätöksentekijät ovat riskin karttajia, joiden preferenssejä kuvaa konkaavi hyötyfunktio.



## 4 Empiirinen malli

Yli 2/3 markkinahintojen aiheuttamista Outokummun tulosheilahteluista on selitettävissä US-dollarin, sinkin ja sähkön hintojen muutoksilla (Hakala, 2003, Vice President -Risk Management, Outokumpu Oyj). Tässä tutkielmassa keskitytään vain valuuttakurssi- ja sinkin hintariskiin. Tehokkaalla johdannaisportfoliolla voidaan suojautua hinnan muutoksen haitalliselta vaikutukselta. Stokastisen optimoinnin tehtävänä on löytää portfolio, joka minimoi riskejä maksimoiden samalla tuottoja.

Luvuissa 2 ja 3 esitettiin mallin kannalta oleelliset teoriat johdannaisista ja stokastisesta optimoinnista. Luvussa 4.1 esitellään Outokummun sinkkiyksikön tuotantoa, riskien realisoitumista sekä liikevoittofunktio, jolla voidaan tarkastella kvartaalikohtaisen tuloksen muodostumista. Luvussa 4.2 käydään läpi malliin liittyvä stokastiikka ja esitetään aikasarja-analyysiä hyväksikäyttäen stokastiset prosessit sinkin hinnalle ja valuuttakursseille. Luvussa 4.3 käydään läpi skenaariopuu, optimointimalli, tavoitefunktiot ja niiden rajoitukset.

### 4.1 Case Outokumpu Zinc

Jorion (2000) toteaa riskienhallinnan avainkysymyksen olevan yrityksen kohtaamien riskien ymmärtäminen ja tunnistaminen. Seuraavissa luvuissa esitellään Outokummun sinkin tuotantoprosessia sekä siihen liittyviä riskejä, kuten valuuttakurssiriski ja sinkin hintariski. Tiedot perustuvat Outokummun vuosikertomukseen 2002, Outokummun internet-sivuihin sekä Juha Hakalan (Vice president – Risk Management) antamiin haastatteluihin.

#### 4.1.1 Sinkin tuotanto yleisesti

Outokumpu Oyj on johtava suomalainen metalli- ja teknologia-alan yritys. Outokummun erikoisalaa on ruostumattoman teräksen, kuparin ja sinkin tuotanto sekä näihin liittyvä

teknologia. Outokumpu Oyj toimi kansanvälisillä markkinoilla. Sen myynnistä yli 90 % suuntautuu Suomen rajojen ulkopuolelle. Konsernin liikevaihto vuonna 2002 oli noin 5,5 miljardia euroa. Outokumpu työllistää 21 000 ihmistä yli 40 maassa. Pro gradu -tutkielmassa keskitytään Outokummun sinkkidivisioonan tuloksen muodostumiseen sekä siihen liittyviin riskeihin. (www.outokumpu.com)

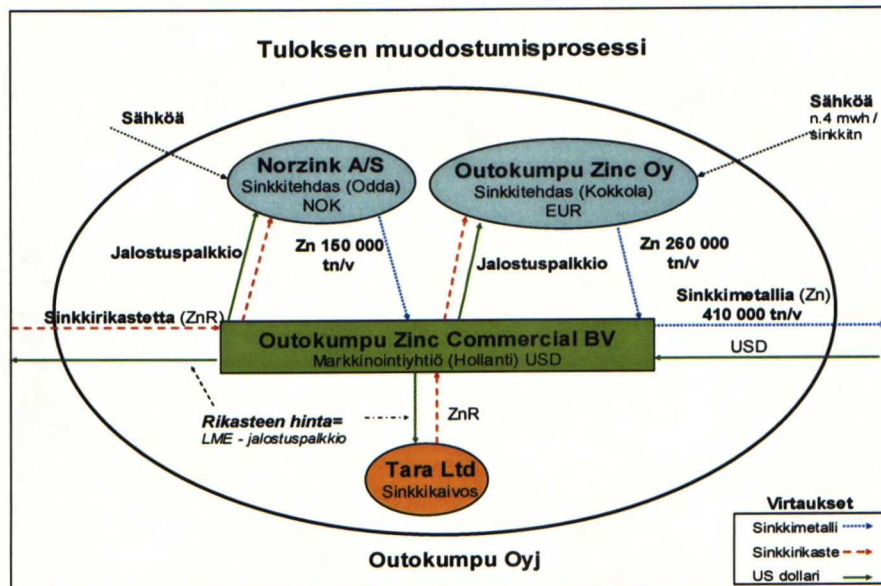
Outokummun sinkkiyksikön päätuote on sinkkiharkot, joita käytetään lähinnä hiiliteräksen pinnoitteena rakennus- ja kuljetusteollisuudessa. Sinkin maailmanmarkkinat ovat 9 miljoonaa tonnia ja kysyntä kasvaa 2-3 % vuodessa. Outokummun osuus maailman sinkkituotannosta on 5 %. (Outokumpu 2002)

Sinkki itsessään on maailman neljänneksi käytetyin metalli. Luonnossa sinkkiä esiintyy maaperässä, kiviaineksessa sekä vedessä. Taloudellisesti kannattavista sinkkiesiintymistä louhitaan sinkkirikasteen ohella myös muita metalleja, kuten lyijyä ja kuparia. Jalostettua sinkkiä käytetään pääasiassa galvanointiin, mikä suojaa metalleita korroosiolta. Suurimpia sinkin kuluttajia ovat galvanoituja autonrunkoja valmistavat autotehtaat. Sinkkiä käytetään myös muiden metallien seosaineena. Esimerkiksi messinki on sinkin ja kuparin seos. Myös ihmiselle sinkki on välttämätön hivenaine. (www.outokumpu.com)

Sinkin tuotannosta vastaa Outokumpu Zinc. Sen keskeinen osa on Alankomaalainen markkinointiyhtiö, joka ostaa sinkkirikastetta joko konsernin omalta kaivokselta, Irlantilaiselta Tara Ltd:ltä tai konsernin ulkopuolelta sinkkirikaste-markkinoilta. Markkinointiyhtiö lähettää rikasteen jalostettavaksi pörssikelpoiseksi sinkkimetalliksi joko Norjan Oddan tai Suomen Kokkolan sinkkitehtaalte (sulatto). Sinkkirikasteen sinkkipitoisuus on tyypillisesti noin 50 %. Jalostettu sinkkimetalli myydään markkinointiyhtiön kautta pääasiassa Euroopan sinkkimarkkinoille. Kuva 3 havainnollistaa sinkki yksikön tuloksen muodostumisprosessia.



Kuva 3: Outokumpu Oyj:n sinkkituotantoon liittyvä tuloksen muodostumisprosessi



Empiirisessä mallissa oletetaan, että tehtaat toimivat 100 % käyttöasteella. Tehtaiden yhteenlaskettu vuotuinen sinkin tuotantokapasiteetti on 410 000 tonnia (Odda 150000 tn/v, Kokkola 260000 tn/v). Todellisuudessa tehtailla saattaa olla tuotantoseisokkeja. Esimerkiksi talvella 2002 korkea sähkön hinta aiheutti Norjan sinkkisulatossa tuotannon sopeuttamista. Vuonna 2002 sähköenergian osuus sinkkituotannon kokonaiskustannuksista oli noin 10 %. Sinkkikaivosten tuotannossa ei normaalisti ole sinkin hinnasta johtuvaa hintajoustoa, koska kaivostoiminnan kiinteät kustannukset ovat korkeat.

Empiirisessä mallissa keskitytään sinkin tuotantoon liittyviin rahoitusriskeihin eli sinkin hinta- ja valuuttakurssiriskien. Mallista rajataan pois sähkön hintariski, korkoriskit ja muut operationaaliset riskit. Kuten edellä todettiin, sähkön hinnalla on merkittävä vaikutus tehtaiden kannattavuuteen. Muita konsernin kohtaamia operationaalisia riskejä ovat esimerkiksi lakot ja onnettomuudet.

#### 4.1.2 Sinkin hintariskin muodostuminen

Metallien hinnoilla on suora vaikutus Outokumpu-konsernin kaivostoiminnan kannattavuuteen ja osittainen vaikutus sen tehtaiden kannattavuuteen. Sinkkirikastetta tuottava kaivostoiminta kantaa valtaosan sinkin hintariskistä. Vain osa riskistä jää tehtaiden kannettavaksi. Tämä jako johtuu alalla vallitsevasta hinnoittelusopimuksesta, jonka mukaan tehdas saa tietyn prosenttimäärän sinkin myyntituloista sekä kaivoksen maksaman jalostuspalkkion. Sinkkirikasteen myynti eli kaivosten saama kassavirta puolestaan hinnoitellaan siten, että rikasteen sinkkisisällön laskennallisesta arvosta vähennetään tehtaiden saama tuotto eli jalostuspalkkio.

Jalostuspalkkio koostuu kolmesta komponentista; kiinteästä osasta sinkin myyntiä, kiinteästä jalostuspalkkiosta sekä *hinnan osuusmaksusta* (price participation). Osuusmaksulla tarkoitetaan sitä osaa jalostuspalkkiosta, jolla tehdas osallistuu kaivoksen tuottoihin. Jos sinkin hinta nousee sidotusta hintatasosta \$750 esimerkiksi \$100 tonnilta, saa tehdas \$15 lisää palkkiota kiinteän palkkion lisäksi. Jos taas hinta laskee sidotusta tasosta \$100, menettää tehdas \$15 tonnilta. Hinnanosuusmaksumääräytyminen ilmenee kaavasta 4.1.

Vaikka rikaste- ja metallimarkkinat ovat toisistaan erilliset, molemmat vaihtelevat taloudellisten ja toimialan suhdanteiden mukaan. Koko Outokumpu Oyj:n kohtaamasta metallihintariskistä sinkin hintariski muodostaa noin 70–80 % (Hakala, 2003, Vice President -Risk Management, Outokumpu Oyj).

#### 4.1.3 Valuuttakurssiriskin muodostuminen

Pääosa konsernin tuotoista kertyy US-dollari- ja euromääräisestä myynnistä. Sinkkimetallin hinta ja sinkin jalostuspalkkiot ovat US-dollarimääräisiä. Tuotantokustannukset syntyvät euroina maksettuina palkkoina ja muina kuluina Kokkolan sinkkitehtaalle sekä Norjan kruunuina maksettuina palkkioina Norjan Oddan sinkkitehtaalle.



Jalostuspalkkio on tuottoerä Kokkolan ja Oddan tehtaille. Konserni operoi tehtaita, joiden tulot muodostuvat dollaripalkkioista ja kulut suurelta osin paikallisvaluutassa. Kullakin tehtaalla on tuottoja vähemmän kuluja paikallisvaluutassa, jolloin erotus on positiivista kassavirtaa. Tähän liittyy kurssiriski, koska tehdas muuttaa voitot paikallisvaluutaksi.

#### 4.1.4 Tuloksen muodostuminen case -yrityksessä

Kuten todettua sinkkimetallin valmistuksessa liikevoittoon vaikuttavat lähinnä jalostuspalkkiot, yksikkökustannukset sekä myyntimäärät. Sinkin myyntihintana voidaan pitää sen LME-hintaa (sinkin pörssihintaa). Raaka-ainekustannukset ovat sinkin LME-hinta, josta vähennetään tehtaille maksettu jalostuspalkkio. Katteeksi sinkkiliiketoiminnasta jää tällöin jalostuspalkkio. Edellä esitettyjen oletusten mukaan sinkkiyksikön kvartaalikohtaista euromääräistä liikevoittoa  $v$  voidaan kuvata seuraavalla funktiolla:

$$v = x \cdot (0.15 \cdot z + kp / ro + (z - sp) \cdot pp / ro) \cdot (1/E) - y_{\text{Suomi}} \cdot (st \cdot s_{\text{EUR}}) - y_{\text{Norja}} \cdot (st \cdot s_{\text{NOK}} \cdot (K / E)) - p_{\text{EUR}} - p_{\text{NOK}} \cdot (K / E) \quad (4.1)$$

missä

$x$  = sinkin myynti,

$z$  = sinkin LME-hinta hetkellä  $t$ ,

$kp$  = kiinteä jalostuspalkkio,

$ro$  = rikasteen sinkkipitoisuus, mallissa 50 %,

$sp$  = sidottu sinkin hintataso, jonka mukaan osuusmaksu määräytyy,

$pp$  = osuusmaksuprosentti, mallissa 15 %,

$st$  = sinkin jalostukseen tarvittava sähkönmäärä,

$y$  = jalostusmäärä ko. maassa,

$s$  = sähkön hinta ko. valuutassa,

$E$  = euron hinta US-dollareissa hetkellä  $t$ ,

$K$  = Norjan kruunun hinta US-dollareissa hetkellä  $t$  ja

$p$  = palkat ko. valuutassa.

Kerroin 0.15 kuvaa tehtaiden saama osuutta liikevaihdosta. Mallissa oletetaan, että yhden sinkkitonnin jalostukseen tarvitaan yleisesti noin neljä megawattituntia sähköenergiaa. Mallissa esiintyvien muiden parametrien lukuarvot esitetään luvussa 4.3.4.

#### *4.1.5 Johdannaisten käyttö case -yrityksessä*

Outokummun suojausstrategian mukaan suojaaminen tuottaa omistajille taloudellista lisäarvoa. Riskienhallintapolitiikan mukaisesti sinkkisulattojen metalliostot ja -myynnit ovat järjestelmällisesti suojattuja ja lyhyen aikavälin katteet on siten varmistettu suojausjaksolta etukäteen. Sähköenergian osalta suojaushorisontti on yleensä vähintään 3 vuotta ja suojaustasoa nostetaan asteittain siten, että 80–100 % ostettavasta sähköstä on hintasuojattu ennen toimitushetkeä (Outokumpu 2002).

Suojaamiseen käytetään pääasiallisesti valuutta ja sinkkitermiineitä. Myös optioita käytetään mutta varsinkin sinkkioptioiden suhteen markkinat ovat hyvin epälikvidit. Outokumpu käyttää termiineitä futuureiden sijaan, jotta sen omapääomaa ei sitoutuisi pörssin vakuusmaksuihin. Termiinikaupat suoritetaan OTC-markkinoilla liike- ja investointipankkien kanssa.

## **4.2 Aikasarjamalli**

Kuten aiemmin on todettu, stokastinen optimointimalli lähtee liikkeelle stokastiikan eli mallin epävarmuuden määrittelystä. Tässä luvussa esitetään aluksi johdatus aikasarjamallin takana olevaan teoriaan. Tämän jälkeen pohditaan valuuttakursseihin ja sinkin hintaan vaikuttavia tekijöitä. Lopuksi esitetään aikasarja-analyysin pohjalta kolmiulotteinen malli, jota hyväksikäyttäen on generoitu valuuttakurssien ja sinkin hinnan muutokset.

#### 4.2.1 Geometrinen Brownian liike (GBM)

Muuttuja, jonka arvo vaihtelee yli ajan epävarmuuden vallitessa seuraa niin sanottua stokastista prosessia. Stokastiset prosessit voidaan jakaa diskreetteihin tai jatkuva-aikaisiin. Diskreetillä tarkoitetaan, että muuttujan arvo voi muuttua vain tietyissä pisteissä, kun taas jatkuva-aikainen voi muuttua koska vaan. Eräs talousteoriassa yleinen osakkeen hinnan  $S$  muutosta lyhyellä aikavälillä mallintava stokastinen prosessi on nimeltään *geometrinen Brownian liike*. Sen diskreetti muoto on (Hull, 1999, 226):

$$\Delta S = \mu S \Delta t + \sigma S \varepsilon \sqrt{\Delta t} \quad (4.2)$$

missä

$\mu$  = liiketermi (drift) eli osakkeen odotettu tuotto (trendi),

$t$  = aika,

$\sigma$  = volatilitteetti ja

$\varepsilon$  = satunnaismuuttuja  $\varepsilon \sim N(0, 1)$ .

Kaavassa yhtälön oikean puolen ensimmäinen termi kuvaa odotettua trendiä ja toinen termi muutoksen epävarmuutta. Tämä niin sanottu *Wiener prosessi* aiheuttaa muuttujassa ”hypähdyksellisiä” muutoksia. Geometrinen Brownian liike on log-normaalinen diffuusio prosessi, jonka varianssi kasvaa suhteessa aikaan. Brownian liikkeeseen liittyvään teoriaan voi tutustua laajemmin mm. Hullin (1999) kirjassa *Options, Futures, & other Derivatives*.



#### 4.2.2 Mean-reversion malli

Hyödykkeille ja valuuttakursseille *mean-reversion* malli tarjoaa johdonmukaisemman mallinnustavan kuin edellä esitetty geometrinen Brownian liike. Oletetaan, että hyödykkeen hinnan  $P$  muutos seuraa mean-reversion prosessia:

$$\Delta P = \eta P (M - P) \Delta t + \sigma P \varepsilon \sqrt{\Delta t} \quad (4.3)$$

missä

$\eta$  = palautumisnopeus ja

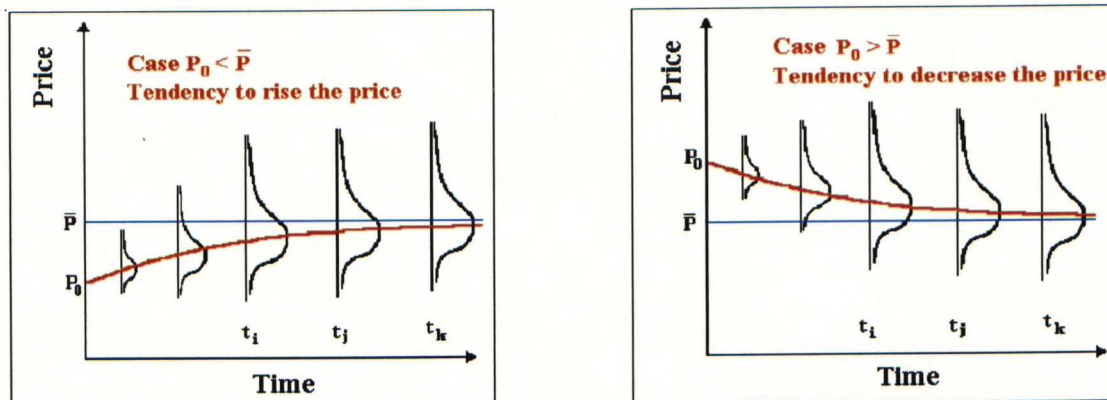
$M$  = pitkän ajan tasapainotaso (equilibrium level).

ja muut termit ovat samoja kuin edellä esitettyssä GBM-mallissa.

Ero mean-reversion prosessin ja GBM-mallin välillä on liiketermissä ( $\eta P (M - P)$ ). Liike on positiivista, jos nykyinen hintataso  $P$  on alempi kuin tasapainotaso  $M$ . Liike on negatiivista, jos  $P > M$ . Toisin sanoen pitkällä aikavälillä hinnat pyrkivät kohti tasapainotasoa  $M$ . Mitä kauempana hinnat ovat tasapainotasostaan, sitä suurempi on pyrkimys sitä kohti. Hyödykkeiden keskiarvohakuisuutta tukee mikrotalousteorian perusoletus, että pitkällä aikavälillä hyödykkeiden hintojen pitäisi olla sidottuina hyödykkeiden pitkän aikavälin tuotannon marginaalikustannuksiin eli kysynnän ja tarjonnan tasapainotilaan (Sloman, 1999, 51).

Mean-reversion prosessin varianssi ei kasva suhteessa aikaan. Varianssi kasvaa prosessin alussa ja stabilisoituu tiettyyn arvoon. Varianssin stabilisoituminen johtuu edellä kuvatusta tasapainotilaan hakeutumisesta. Kuva 4 havainnollistaa mean-reversion prosessia ja varianssin kehitystä.

Kuva 4: Mean-reversion prosessi



Lähde: <http://www.puc-rio.br/marco.ind/revers.html#mean-rev>

Talousteorian kirjallisuudessa esiintyy useita erilaisia tapoja mallintaa mean-reversion prosessia. Edellä esitetty malli perustuu Dixit & Pindyck (1994) tutkimukseen ja se tunnetaan myös nimellä *Geometric Ornstein-Uhlenbeck* tai *Dixit & Pindyck Model*. Mean-reversion mallin korkoihin liittyvään käytännön sovellukseen voi tutustua Black ja Karasinskiin (1991) tutkimuksessa *Bond and Option Pricing when Short Rates are Lognormal*.

#### 4.2.3 Valuuttakurssien mallintaminen

Talousteoriaan pohjautuvat mallit pyrkivät selittämään valuuttakurssien muodostumista makrotaloudellisten fundamenttien avulla. Selittävinä tekijöinä saattavat olla esimerkiksi valtion harjoittama raha- tai finanssipolitiikka, inflaatiovauhti ja poliittinen epävarmuus. Sartore ym. (2002) ovat tutkineet USA:n dollarin ja Euron välistä valuuttakurssikehitystä. He havaitsivat tutkimuksessaan, että suurimmat valuuttakurssieroon endogeenisesti vaikuttavat tekijät ovat dollari- ja euro-alueen pitkien reaalikorkojen ero eli joukkovelkakirjojen hinta, bruttokansantuotteiden vuotuisen kasvun ero sekä valuuttakurssitaso. Näin ollen kaikki relevantit markkinat, raha-, hyödyke- ja valuuttamarkkinat pitäisi mallintaa samanaikaisesti ennustaakseen valuuttakurssikehitystä luotettavasti.

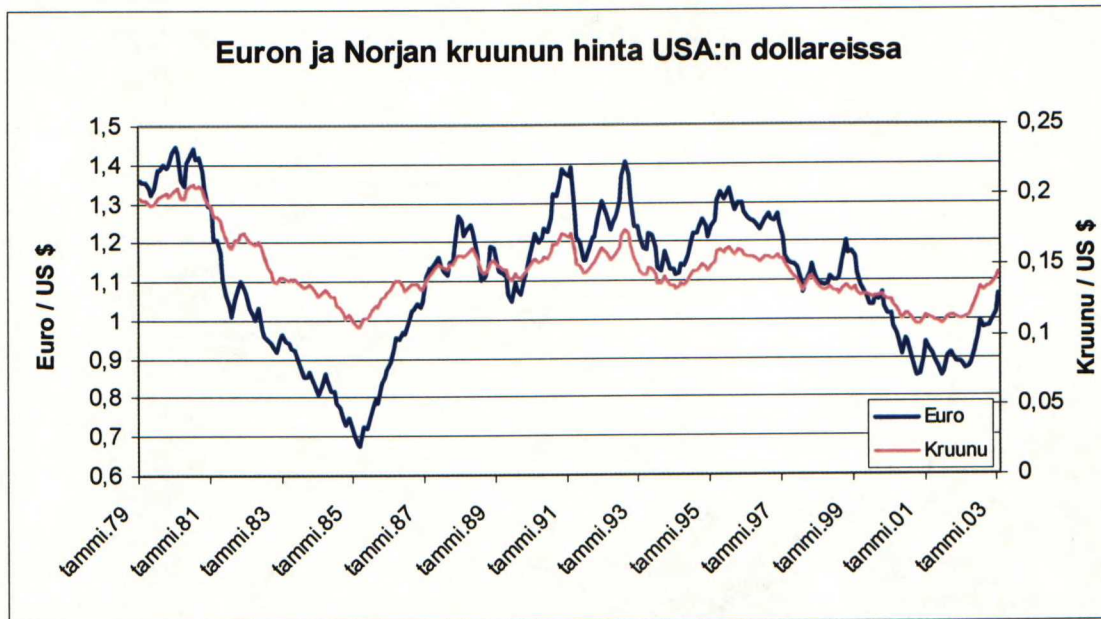
Lyhyellä tähtäimellä valuuttakurssit määräytyvät ennemmin spekulatiivisten rahavirtojen seurauksena, kuin makrotaloudellisten fundamenttien perusteella. Aikasarjamallit pyrkivät selittämään muuttujan arvoa sen omalla historiallisella kehityksellä eli valuuttakurssi tietyssä ajanhetkenä on funktio sen omasta menneisyydestä. Mallinnettaessa valuuttakursseja aikasarjamallilla, ei ole tarkoituksenmukaista ottaa kantaa valuuttakurssimuutosten taustalla oleviin syihin. Valuuttakurssien voidaan lyhyellä aikavälillä olettaa olevan log-normaalisti jakautuneita. Tällöin niiden logaritmiset muutokset ovat normaalijakautuneita. Näiden perustelujen nojalla aikasarjamalli soveltuu lyhyen aikavälin valuuttakurssimuutosten mallintamiseen.

Norjan kruunun mallintaminen suhteessa USA:n dollariin on Norjan taloudellisen erityisaseman takia ongelmallisempaa kuin euron mallintaminen suhteessa US-dollariin. Öljyn viennin takia Norjan ulkomaan kaupan vaihtotase on jatkuvasti ylijäämäinen ja korkoero verrattuna euro-alueeseen positiivinen. Kyseisestä ongelmasta huolimatta mallinnetaan tutkielmassa Norjan kruunun kurssia US-dollareissa aikasarjamallilla ottamatta korkoja selittäjäksi.

Kuvasta 5 nähdään valuuttakurssien käyttäytyvän GBM-mallin mukaisesti hypähdellen. Selvää trendiä ei kummankaan valuutan kohdalla ole havaittavissa, mikä tukee mean-reversion mallin käyttöä valuuttakursseja mallinnettaessa. Norjan kruunun ja euron havaitaan korreloivan keskenään voimakkaasti. Euron kurssi US-dollareissa vuodesta 1999 vuoteen 2002 on laskettu käyttäen virallisia sidottuja vaihtokursseja. Vuodesta 1979 vuoteen 1999 on Euron sijasta käytetty virallista laskennallista Euroopan rahayksikköä.



Kuva 5: Euron ja Norjan Kruunun hinta US-dollareissa 1979–2003



#### 4.2.4 Sinkin hinnan mallintaminen

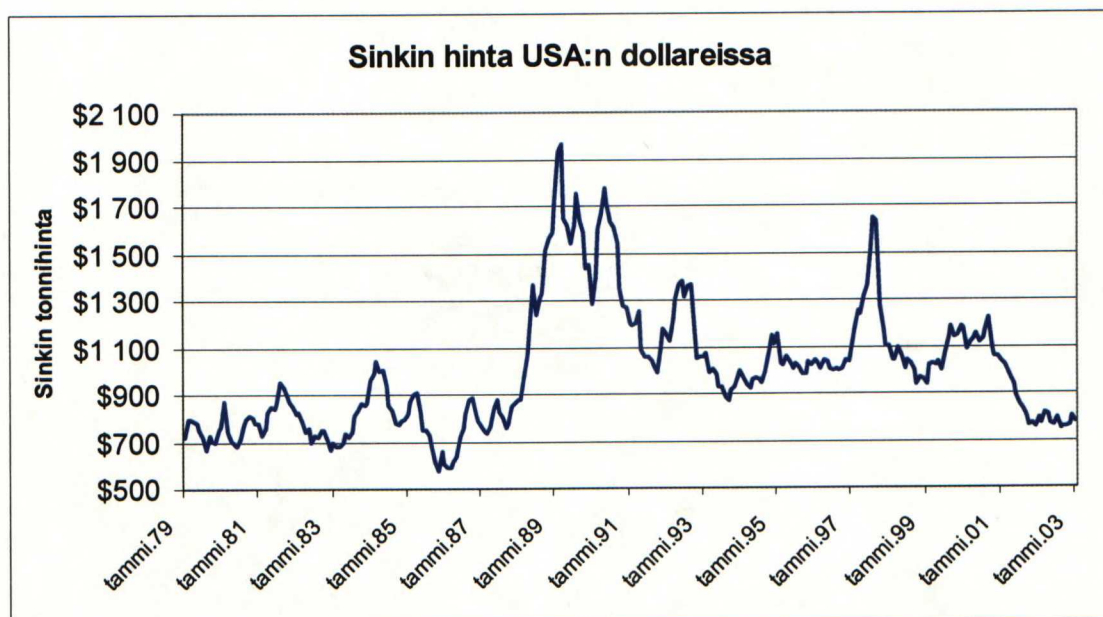
Englantilainen Bloomsbury Mineral Economics Ltd. (BME) on kehittänyt hinnoittelumallin ensisijaisesti ei-rautapitoisille (non-ferrous) metalleille. Tämän mallin mukaan perusmetallien hinnan muutoksille on määriteltävissä kolmen tyypistä hintaan vaikuttavia tekijöitä. Ensisijainen hintaan vaikuttava tekijä on *muutos metallien kysyntä- ja tarjontakäyrissä*. Kysynnällä on yleisesti tarjontaa suurempi volatilitteetti johtuen kysynnän herkkyydestä taloudellisiin suhdannesykleihin. Kysyntä aiheuttaa muutoksia metallien hinnoissa kun taas tarjonta vastaa hintojen muutoksiin. Hinnat ja tarjonta heiluvat tasapainotason molemmilla puolilla, aiheuttaen muutoksia varastotasossa. Nämä *varastotasojen muutokset* ovat toissijainen hintaan vaikuttava tekijä. *USA:n dollarin suhteellinen vahvuus tai heikkous verrattuna muihin valuuttoihin* on kolmanneksi tärkein metallien hintaan vaikuttava tekijä. (Mining Journal, 2002, 233)

Lyhyellä aikavälillä voidaan sinkin hinnan olettaa olevan log-normaalisti jakautunut. Tällöin logaritmiset hinnan muutokset ovat normaalijakautuneita. Mallinnettaessa sinkin hintaa aikasarjamallilla ei ole tarkoituksen mukaista huomioida kysyntä- ja

tarjontakäyriä, vaan olettaa ainoastaan EUR / USD -vaihtokurssin sekä sinkin historiallisen hintakehityksen vaikuttavan sinkin hinnan tulevaan kehitykseen. Näin ollen aikasarjamallin voidaan olettaa soveltuvan myös lyhyen aikavälin sinkin hinnan mallintamiseen.

Kuvasta 6 havaitaan sinkin hinnan käyttäytyvän hyvin samalla tavalla kuin valuuttakurssien, noudattaen GBM-mallia ja keskiarvohakuisuutta. Reaalista arvonnousua eli trendiä ei sinkin hinnassa ole havaittavissa. Sinkin hintana käytetään Lontoon metallipörssissä (LME) noteerattua käteishintaa. Sinkin tonnihinta ilmoitetaan USA:n dollareissa.

Kuva 6: Sinkin hinta US-dollareissa 1979–2003





#### 4.2.5 Valuuttakurssien ja sinkin hinnan estimointi

Ajan kuluessa valuuttakurssien ja sinkin arvo muuttuu. Tätä arvon muutosta mallinnetaan aikasarja-analyysiä hyväksikäyttäen. Kaikkien kolmen faktorin, *EUR/USD* ja *NOK/USD* – vaihtokurssien sekä sinkin hinnan  $Z$  logaritmien kuukausittaiset muutokset  $\Delta X_t$  mallinnetaan seuraavaa diskreettiä kolmiulotteista aikasarjamallia käyttäen:

$$\Delta X_t = C + A\Delta X_{t-1} + \alpha(X_{t-1} - \bar{X}) + \varepsilon_t, \quad \varepsilon_t \sim N(0, \Sigma), \quad (4.4)$$

missä

$$X_t = \begin{bmatrix} \ln E_t \\ \ln K_t \\ \ln Z_t \end{bmatrix} = \text{hintaa kuvaava logaritmivektori,}$$

$C$  = vakio eli trendi (3 x 1),

$A$  = kerroinmatriisi (3 x 3),

$\alpha$  = kerroinmatriisi (3 x 3),

$\bar{X}$  = hintojen keskiarvo (3 x 1),

$\varepsilon_t$  = virhetermi (3 x 1) ja

$\Sigma$  = virhetermien kovarianssimatriisi (3 x 3).

$E$  tarkoittaa euron kurssia US-dollareissa,  $K$  tarkoittaa Norjan kruunun kurssia US-dollareissa ja  $Z$  tarkoittaa sinkin US-dollarimääräistä tonnihintaa. Aikasarjamallilla kuvataan valuuttakurssien ja sinkin hinnan kehitystä samanaikaisesti. Kaikki tekijät oletetaan keskiarvohakuiseksi edellä esitettyjen perustelujen nojalla. Mallin estimoinnissa on käytetty historiadataa ajalta 1980/1-2002/12.

Aikasarjamallin mukaan  $\ln E_t$ :hen eli euron vaihtokurssiin vaikuttaa tilastollisesti merkitsevästi *differenssi*  $\ln E_{t-1}$  sekä  $\ln K_{t-1}$ . Kruunun vaihtokurssiin,  $\ln K_t$  vaikuttaa

differenssi  $\ln K_{t-1}$  sekä  $\ln K_{t-1}$ . Sinkin hintaan  $\ln Z_t$  vaikuttaa differenssi  $\ln Z_{t-1}$ ,  $\ln Z_{t-1}$  sekä  $\ln E_{t-1}$ , mikä on yhdenmukaista aiemmin esitetyn hypoteesin kanssa. Luonnollisen logaritmin käyttö varmistaa ei-negatiivisuuden kaikissa tapauksissa. Estimoidut parametrit on esitetty taulukossa 1.

**Taulukko 1: Aikasarjamallin kerroinmatriiseille estimoidut parametrit**

A:n 3 x 3 kerroinmatriisille estimoidut parametrit ovat:			
	$\Delta \ln E$	$\Delta \ln K$	$\Delta \ln Z$
$\Delta \ln E$	0,28768	0	0
$\Delta \ln K$	0	0,34109	0
$\Delta \ln Z$	0	0	0,23955

Alfan 3 x 3 kerroinmatriisille estimoidut parametrit ovat:			
	$\ln E$	$\ln K$	$\ln Z$
$\ln E$	0	-0,026733	0
$\ln K$	0	-0,022062	0
$\ln Z$	0,038427	0	-0,04252

Skenaariota generoitaessa on käytetty seuraavia pitkän aikavälin (1980–2002) historiadatasta valuuttakursseille laskettuja keskiarvoja:

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} \bar{X}_E \\ \bar{X}_K \\ \bar{X}_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \ln 1,1 \\ \ln 0,146 \\ \ln 800 \end{bmatrix}$$

Sinkin hinnan pitkän aikavälin keskiarvo on \$1000 mutta mallissa oletetaan, että nykyinen hintataso \$800 kuvaa paremmin vuoden 2003 odotettu sinkin hintatasoa. Kuten edeltä huomataan, keskiarvoja manuaalisesti muuttamalla voidaan mallia mean-reversion mukaisesti pakottaa lähestymään tiettyä hintatasoa. Esimerkiksi jos sinkin hinnan oletetaan olevan vuoden kuluttua 900 USD/tn, asetetaan keskiarvo 900:an ja generoidaan skenaariot uusilla parametreilla. Sinkin hinnan odotusarvo lähestyy tällöin kyseistä arvoa.



Mallissa vakio  $C$  on nolla, koska edellä esitetyn mukaan aikasarjoilla ei ole trendiä. Antamalla manuaalisesti vakiovektorille  $C$  jokin tietty arvo, voidaan malliin lisätä subjektiivista näkemystä markkinoiden tulevasta kehityksestä eli trendistä

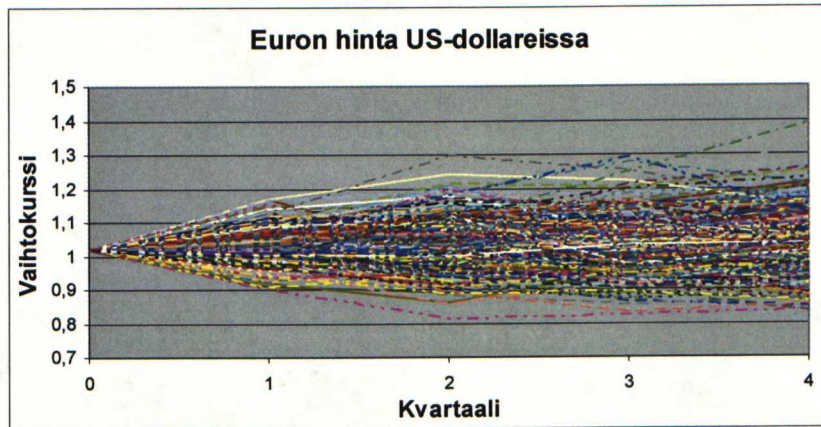
Virhetermien kovarianssimatriisi on muotoa  $\Sigma = SRS$ , missä  $S$  on virhetermien keskihajonnan diagonaalimatriisi ja  $R$  virhetermien korrelaatio-matriisi. Estimoitujen virhetermien keskihajonnat  $\sigma$  ja korrelaatiomatriisi  $R$  ovat:

		$\Delta \ln E$	$\Delta \ln K$	$\Delta \ln Z$
$R =$	$\Delta \ln E$	1	0,899660	0,040595
	$\Delta \ln K$	0,899660	1	0,038971
	$\Delta \ln Z$	0,040595	0,038971	1

	$\Delta \ln E$	$\Delta \ln K$	$\Delta \ln Z$
$\sigma =$	0,0245528	0,0214785	0,0548304

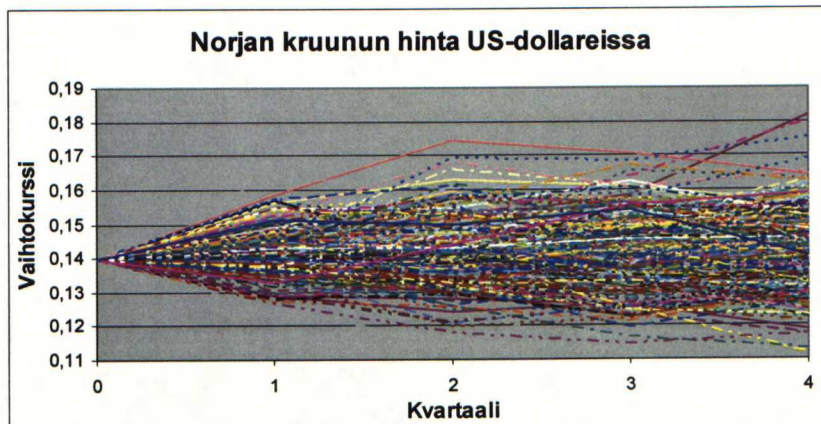
Virhetermi  $\varepsilon_t$  generoidaan neljännesvuosittain 255 skenaariolle ja hintafaktorille erikseen. Generoidut skenaariopuut euron ja kruunun kurssille sekä sinkin hinnalle esitetään kuvissa 7-9.

Kuva 7: Aikasarjamallilla generoidut euron hinnat US-dollareissa vuonna 2003



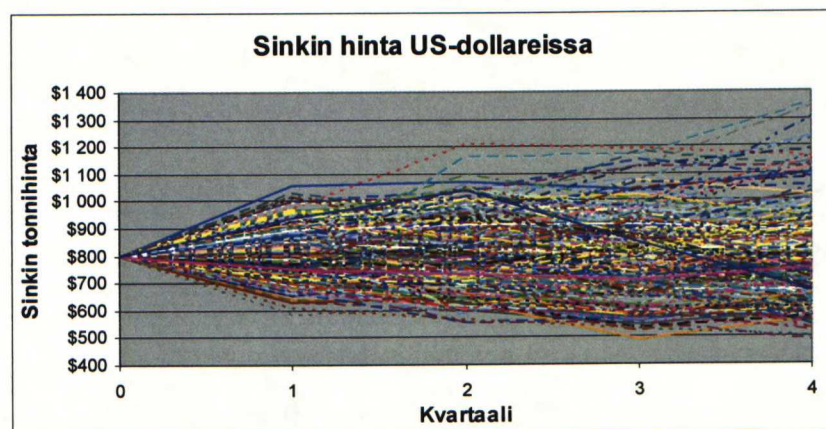
	Q1	Q2	Q3	Q4
<b>Odotusarvo:</b>	1,0324	1,0341	1,0383	1,0402
<b>Keskihajonta:</b>	0,0515	0,0768	0,0862	0,0943
<b>Minimi:</b>	0,9020	0,8136	0,8232	0,8042
<b>Maksimi:</b>	1,1663	1,2932	1,2915	1,3882

Kuva 8: Aikasarjamallilla generoidut Norjan kruunun hinnat US-dollareissa vuonna 2003



	Q1	Q2	Q3	Q4
<b>Odotusarvo:</b>	0,1420	0,1424	0,1426	0,1427
<b>Keskihajonta:</b>	0,0067	0,0097	0,0108	0,0118
<b>Minimi:</b>	0,1251	0,1147	0,1145	0,1117
<b>Maksimi:</b>	0,1638	0,1743	0,1708	0,1816

Kuva 9: Aikasarjamallilla generoidut sinkin tonnihinnat US-dollareissa vuonna 2003



	Q1	Q2	Q3	Q4
Odotusarvo:	810,42	805,63	791,41	795,44
Keskihajonta:	91,73	124,32	140,13	163,30
Minimi:	579,40	547,90	489,80	486,97
Maksimi:	1 054,27	1 204,36	1 189,99	1 349,11

Vertaamalla ensimmäisen kvartaalin ennustettuja vaihtokursseja sekä sinkin hintaa 31.3.2003 toteutuneisiin hintoihin, (EUR/USD 1,09, NOK/USD 0,137 ja sinkki \$763,00) havaitaan toteutuneiden hintojen oleva yhden standardipoikkeaman sisällä odotusarvosta. Tämän perusteella voidaan olla tyytyväisiä aikasarjamallin antamaan hintaennusteeseen.

#### 4.3 Optimointimalli

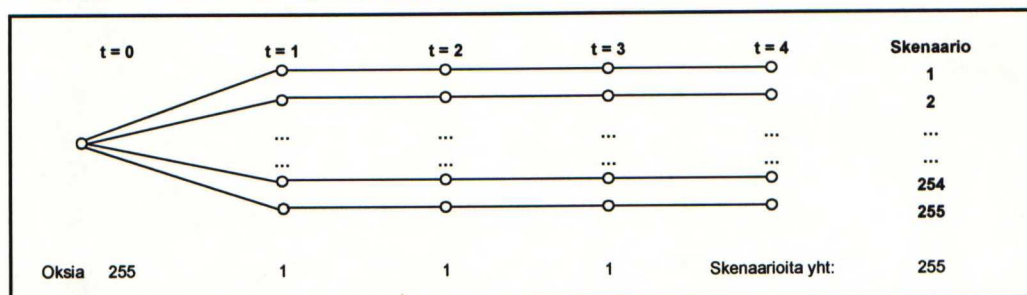
Optimointimallin tavoitteena on löytää skenaariopuun avulla yritykselle optimaalinen johdannaisportfolio, jolla riskin ja tuloksen riippuvuus saadaan päätöksentekijän preferenssien mukaiseksi. Tässä luvussa esitellään aluksi mallin skenaariopuu ja sen rakenne. Tämän jälkeen käydään läpi rajoitusten matemaattinen muotoilu ja esitellään mallissa käytetyt tavoitefunktiot sekä optimoinnissa käytetty johdannaisdata. Lopuksi esitellään skenaarioiden generointi ja mallin muut parametrit. Luvussa 4.2.5 on esitelty hintojen generointiin tarvittava aikasarjamalli.



#### 4.3.1 Skenaariopuu ja mallin rakenne

Optimointimallissa käytetään skenaariopuuta, jossa vuoden aikahorisontti on jaettu neljään yhtä pitkään periodiin. Nämä periodit on valittu kuvaamaan yrityksen tuloskvartaaleja ja ne esittävät sen tuloksen hetkillä  $t = 0, 1, \dots, 4$ . Mallin rakenne esitetään kuvassa 10.

Kuva 10: Mallin skenaariopuun rakenne



Skenaariopuu muodostuu yhteensä 255 skenaariosta ( $255 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 255$ ), minkä oletetaan tässä mallissa kuvaavan epävarmuutta riittävästi. Juurisolmu on mallin ainoa päätössolmu, jossa voidaan tehdä päätöksiä johdannaisportfolion koostumuksesta. Muut solmut ovat niin sanottuja satunnaissolmuja, jotka mallintavat hintojen muutoksia kyseisillä periodeilla.

Mallin peruseriaatteena on mallintaa Outokumpu Oyj:n sinkkidivisioonan tulosta eri kvartaaleilla vuodelle 2003. Tulos eli liikevoitto, johon on lisätty rahoitustuotot ja kulut muodostuu luvussa 4.1.4 esitetyn mallin mukaisesti. Liikevoittoon vaikuttaa ratkaisevasti sinkin hinta ja Norjan kruunun sekä US-dollarin vaihtokurssi. Mallissa näiden faktoreiden aiheuttamaa tuloksen vaihtelua voidaan pienentää johdannaisilla.

Kvartaalikohtaista liikevoittoa yritys voi mallin mukaan muokata myymällä tai ostamalla nollakuponkilainoja, joiden tuotto on laskettu Euribor-korkokäyrästä. Mallissa yhden nollakuponkilainan arvo on erääntymispäivänä miljoona euroa. Johdannaisten ja nollakuponkilainojen transaktio aiheuttaa mallin mukaan transaktiokuluja  $tc$ , joiden suuruus on 0,2 % transaktion määrästä. Johdannaiset ja termiinit on hinnoiteltu siten, että

niiden arvo liikkeellelaskuhetkellä on nolla, joten ainoat kulut ovat pankkien välityspalkkiot. Option ostaja maksaa transaktiokulun lisäksi myös option hinnan ja asettaja saa siten hinnan suuruisen preemion vähennettynä transaktiokululla. Mallissa termiin  $k$  tuotto euroissa hetkellä  $t$  eli  $CFF_{t,k}$  on muotoa:

$$CFF_{t,k} = 1/E \cdot (K_k - S_{T,k}) \quad (4.5)$$

missä

$E$  = euron arvo US-dollareissa hetkellä  $t$ ,

$K_k$  = aikasarjamallin mukaan kohde-etuuden  $k$  hinta hetkellä  $t$  ja

$S_{T,k}$  = taulukossa 2 esitetyn termiin  $k$  toteutushinta erääntymishetkellä.

US-dollarimääräisen valuuttaoption  $j$  tuotto euroissa hetkellä  $t$  eli  $CFO_{t,j}$  on muotoa:

$$\text{osto-optio: } CFO_{t,j} = \max(0, 1 - X_j/E) \quad (4.6)$$

$$\text{myynti-optio: } CFO_{t,j} = \max(0, X_j/E - 1) \quad (4.7)$$

missä  $X_j$  on option  $j$  toteutushinta ja  $E$  on euron arvo US-dollareissa hetkellä  $t$ .

#### 4.3.2 Mallin rajoitukset

Optimointiongelman rajoitukset määrittelevät käypien ratkaisujen joukon. Tulos  $w_t$  hetkellä  $t$ ,  $t = 1, \dots, 4$  on Outokumpu Zinc kvartaalikohtainen liikevoitto  $v_t$  lisättynä johdannaisten ja nollakuponkilainojen tuotolla. Mallissa johdannaisten ja nollakuponkilainojen transaktiokulut vaikuttavat juurisolmun  $w_0$  tulokseen. Tällöin  $v_0$  on Outokumpu Zinc vuoden 2002 kumulatiivinen tulos (3 MEUR) ja  $w_0$  on suojaustoimenpiteiden jälkeinen tulos hetkellä 0.

Tulosrajoitusten matemaattinen formulointi on muotoa:

$$w_t = v_t + (1 - ZP_t) \cdot (zeb_t - zes_t) + \sum_k (fub_k - fus_k) \cdot CFF_{t,k} + \sum_j (opb_j - ops_j) \cdot CFO_{t,j} \quad (4.8)$$

$$w_0 = v_0 - \sum_k (fus_k \cdot tc + fub_k \cdot tc) - \sum_{i=1}^4 ZP_i \cdot (zes_i \cdot tc + zeb_i \cdot tc) + 1/E_0 \cdot \sum_j OP_j \cdot (ops_j \cdot (1 - tc) - opb_j \cdot (1 + tc)) \quad (4.9)$$

missä

$fub$  = ostettujen termiinien kappalemäärä miljoonissa,  $\geq 0$ ,  
 $fus$  = myytyjen termiinien kappalemäärä miljoonissa,  $\geq 0$ ,  
 $tc$  = transaktiokulu, mallissa 0,2 %,  
 $ZP$  = nollakuponkilainojen hinta, erääntymispäivänä miljoona euroa,  
 $zeb$  = ostettujen nollakuponkilainojen kappalemäärä miljoonissa,  $\geq 0$ ,  
 $zes$  = myytyjen nollakuponkilainojen kappalemäärä miljoonissa,  $\geq 0$ ,  
 $E_0$  = euron arvo US-dollareissa hetkellä 0,  
 $OP$  = optioiden hinta US-dollareissa,  
 $opb$  = ostettujen optioiden kappalemäärä miljoonissa,  $\geq 0$ ,  
 $ops$  = myytyjen optioiden kappalemäärä miljoonissa,  $\geq 0$ ,  
 $CFO$  = US-dollarimääräisen valuuttaoption tuotto euroissa hetkellä  $t$  ja  
 $CFF$  = termiinin tuotto euroissa hetkellä  $t$ .

Nollakuponkilainojen ja termiinien toteutushinnat esitetään taulukossa 2.



Juurisolmun budjettirajoite kertoo, paljonko mallin mukaan voidaan ostaa ja myydä johdannaisia sekä nollakuponkilainoja. Budjettirajoitteen matemaattinen formulointi on muotoa:

$$\sum_k (fus_k \cdot tc + fub_k \cdot tc) + \sum_{i=1}^4 ZP_i (\cdot zeb_i \cdot (1+tc) - zes_i \cdot (1-tc)) + 1/E_0 \cdot \sum_j OP_j \cdot (ops_j \cdot (1-tc) + opb_j \cdot (1+tc)) \leq 3 \quad (4.10)$$

missä 3 (meur) tarkoittaa Outokumpu Zinc vuoden 2002 kumulatiivista tulosta, minkä oletetaan tässä tutkielmassa olevan suojausinstrumenttien budjettirajoite. Muut termit ovat samoja kuin edellä esitetyt.

#### 4.3.3 Mallissa käytettävät tavoitefunktiot

Mallin tavoitefunktio muodostetaan hyötyfunktioista, jonka arvon määrää kuusi päätösmuuttujaryhmä: *ostetut ja myydyt termiinit*, *ostetut ja myydyt optiot* sekä *ostetut ja myydyt nollakuponkilainat*. Käyttäen yrityksen tulosta  $w_t$ ,  $t = 0, \dots, 4$ , tavoite on yleisesti muotoa:

$$\max E f(w) \quad (4.11)$$

missä  $E$  on odotusarvo-operaattori ja  $w$  on  $(w_0, \dots, w_4)$ .

Ensimmäiseksi mallissa käytettäväksi tavoitefunktioiksi valittiin hyödyn odotusarvon maksimointi, jossa poikkeamaa keskiarvotasosta  $W$  sakotetaan kvadraattisesti. Tavoitefunktio on tällöin muotoa:

$$\max E f(w) = w_0 - 0,1 \cdot (w_0 - W)^2 + \sum_s p_s \left( \sum_{t=1}^4 w_t^s - 0,1 \cdot (w_t^s - W)^2 \right) \quad (4.12)$$

ehdolla 4.8 - 4.10, missä

$p_s$  = skenaariotodennäköisyys kaikilla  $s$ ,  $s = 1, \dots, 255$  ja

$w_t^s$  = yrityksen tulos hetkellä  $t$  skenaariossa  $s$ ,  $t = 1, \dots, 4$ .

Optimiraikaisu ongelmalle maksimoi siis funktion  $f(w)$  odotusarvoa. Tavoitefunktiossa kerroin 0,1 ilmaisee sakan painoarvon. Kokeilemalla eri kertoimia todettiin, että 0,1 on tämän tavoitefunktion osalta toimiva.

Velkaiselle yritykselle, kuten Outokumpu Oyj Avesta Polarit oyj:n oston jälkeen on, kvadraattinen sakko on Hakalan (Vice President -Risk Management, Outokumpu Oyj) mukaan mahdollisesti perusteltavissa pääoman kustannuksella. Oletetaan, että yrityksen koko pääoman kustannus eli tuottovaatimus riippuu talousteoriassa tunnetusta *Weighted Average Cost of Capital* (WACC) mallista:

$$WACC = (E/V) \cdot R_E + (D/V) \cdot ((R_D) \cdot (1-T)) \quad (4.13)$$

missä  $E$  on yrityksen oman pääoman markkina-arvo,  $D$  on vieraan pääoman markkina-arvo,  $V$  on koko pääoman markkina-arvo,  $R_E$  on oman pääoman tuottovaatimus,  $R_D$  on vieraan pääoman tuottovaatimus ja  $T$  on yhtiöverokanta.

Tällöin tuloksen raju putoaminen saattaa aiheuttaa muutoksia yhtiön luottoluokituksessa. Outokumpu Oyj ei ole hakenut luottoluokitusta, mutta mikäli se olisi esimerkiksi

Standard's % Poor'sin mukaan BBB, niin sen tippuminen roskalainaluokkaan, alle investment graden eli BB:n aiheuttaisi suuren muutoksen vieraan pääoman kustannuksissa. Tämä muutos todennäköisesti lisäisi myös yhtiön osakkeen volatilitteettia ja sitä kautta myös oman pääoman kustannusta. Pääomakustannuksen ja luottoluokituksen välinen suhde on epälineaarinen, mikä tukee kvadraattisen sakon käyttöä.

Edellä esitetty tavoitefunktio, jossa on kvadraattinen sakko, ilmentää haastattelujen perusteella parhaiten päätöksentekijän eli Outokummun johdon suhtautumista riskiin. Toinen vaihtoehtoinen tavoitefunktio on edellä esitetyn kaltainen sakkofunktio muunnettuna siten, että se sakottaa poikkeamasta edelliseen kvartaaliin nähden, eikä poikkeamasta keskiarvotasoon. Eli jos edellisessä tavoitefunktiossa päätöksentekijä halusi tasaista tuloskehitystä kaikissa skenaarioissa, tässä tavoitefunktiossa päätöksentekijälle on tärkeää, ettei yhden skenaarion eri kvartaaleissa ole suuria poikkeamia.

Tavoitefunktio on tällöin muotoa:

$$\max E f(w) = w_0 + \sum_s p_s \left( \sum_{t=1}^4 w_t^s - 0,5 \cdot (dw_t^s)^2 \right) \quad (4.14)$$

ehdolla 4.8 - 4.10 sekä

$$dw_t^s = w_t^s - w_{t-1}^s,$$

missä  $(dw_t^s)^2$  kuvaa kvadraattista sakkoa poikkeamasta edellisen skenaarion tulokseen verrattuna kaikissa muissa paitsi juurisolmussa. Tässä tavoitefunktiossa sakon painoksi valittiin 0,5.



Kolmas mallissa käytetty tavoitefunktio on niin sanottu *max-min -kriteeri*. Tavoitefunktio on tällöin muotoa:

$$\text{Max } W \quad (4.15)$$

ehdolla 4.8 - 4.10 sekä

$$W \leq w_{t,s} \quad \forall t,s \text{ ja}$$

$$W \leq w_0.$$

Mallissa voidaan myös soveltaa muunlaisia tavoitefunktioita kuten eksponentiaalista hyötyfunktiota tai sakkofunktiota, joka sakottaa tuloksen huonontumisesta edelliseen kvartaaliin nähden, eikä kuten mallissa käytetty, joka rankaisee myös tuloksen nousemisesta edelliseen kvartaaliin nähden.

#### 4.3.4 Mallin johdannaisdata

Kuten todettu empiirisen mallin tavoitteena on etsiä optimaalinen johdannaisportfolio Outokummun sinkkidivisioonalle vuodelle 2003. Mallin tarkastelu alkaa vuoden 2003 ensimmäisen kvartaalin ensimmäisestä arkipäivästä, mikä oli torstai 2.1. Mallissa on mahdollisuus käyttää kolmen tyyppisiä termiineitä: EUR/USD-, NOK/USD- ja sinkkitermiineitä. Outokummun suosituksesta malliin on valittu ainoastaan EUR/USD- valuuttaoptiot. EUR/USD tarkoittaa euron arvoa US-dollareissa ja NOK/USD tarkoittaa Norjan kruunun arvoa US-dollareissa.

Mallissa käytetyt termiinit oletetaan tehdyiksi 2.1.2003. Termiinien toteutushinnat on saatu valuutoille CME:n kotisivulta ([www.cme.com](http://www.cme.com)) ja sinkille LME:n kotisivulta ([www.lme.com](http://www.lme.com)). Mallissa yksi termiini vastaa yhtä kohde-etuutta, paitsi sinkissä, jossa yksi termiini vastaa yhtä tonnia sinkkiä. Mallissa termiinit erääntyvät 3, 6, 9 tai 12 kuukauden kuluttua liikkeellelaskupäivästä. Kolmen kuukauden kuluttua erääntyvä termiini vaikuttaa ensimmäisen kvartaalin tulokseen jne.. Puutteellisesta datasta johtuen

puuttuvat maturiteetit sinkille ja Norjan kruunulle on laskettu interpoloimalla ne toteutushintakäyrältä. Nollakuponkilainojen hinnat on laskettu kyseisen päivän Euribor-korkokäyrästä. Korkotiedot on otettu *Kauppalehdestä* (3.1.2003). Termiinien ja Nollakuponkilainojen toteutushinnat eri maturiteeteille esitetään taulukossa 2.

**Taulukko 2: Mallissa käytetyt johdannaisten ja nollakuponkilainojen toteutushinnat**

<b><u>Toteutushinnat:</u></b>				
	Erääntyä kk kuluttua liikkeelle laskupäivästä			
<b>Termininit:</b>	<b>3 kk</b>	<b>6 kk</b>	<b>9 kk</b>	<b>12 kk</b>
EUR/USD	1,03300	1,02950	1,02680	1,02470
NOK/USD	0,14267	0,14370	0,14473	0,14577
Sinkki	769,500	776,375	783,250	790,125
<b>Nollakuponkilainat:</b>	<b>0,9929</b>	<b>0,9861</b>	<b>0,9795</b>	<b>0,9730</b>

EUR/USD-valuuttaoptioiden hinnat on laskettu BS-valuuttaoptiomallin mukaisesti liikkeellelaskupäivän ollessa 2.1.2003. Riskittöminä korkoina on käytetty Kauppalehdessä 3.1.2003 julkaistuja euro-alueen ja USA:n riskittömiä korkoja. Keskihajonnat on estimoitu historiadatasta. Optioiden hinnat laskettiin siten, että ne erääntyvät 3, 6, 9, tai 12 kuukauden kuluttua liikkeellelaskupäivästä.

#### *4.3.5 Parametrit ja skenaarioiden generointi*

Osa mallin parametreista on stokastisia eli niihin liittyy satunnaisuutta ja osa deterministisiä eli arvoltaan vakioisia kaikissa solmuissa. Stokastisen optimoinnin kannalta mielenkiintoisimpia ovat stokastiset parametrit: sinkin hinta ja valuuttakurssit. Näihin liittyvä satunnaisuus on esitetty luvussa 4.2.5 ja niiden vaikutus Outokummun sinkki divisioonan tulokseen luvussa 4.1.4.



Deterministisiä parametreja ovat sinkin myynti, jalostusmäärä Suomessa ja Norjassa, kiinteä jalostuspalkkio ja hintataso, johon osuusmaksu on sidottu, sähkön megawattihinta euroissa ja Norjan kruunuissa sekä sinkin valmistuksen kiinteät kulut eli palkat euroissa ja Norjan kruunuissa. Mallissa käytetyt parametrien lukuarvot on esitetty taulukossa 3.

**Taulukko 3: Determinististen parametrien lukuarvot**

<b>Sinkin myynti:</b>	<b>0,1025 = 0,41/4</b>	Miljoonaa tonnia / kvartaali
<b>Jalostusmäärä Suomessa:</b>	<b>0,0650 = 0,26/4</b>	Miljoonaa tonnia / kvartaali
<b>Jalostusmäärä Norjassa:</b>	<b>0,0375 = 0,15/4</b>	Miljoonaa tonnia / kvartaali
<b>Kiinteä jalostuspalkkio:</b>	<b>140,00 = 0,19*750</b>	USD / tonni
<b>Hintataso osuusmaksun määrittymiselle:</b>	<b>750,00</b>	USD / tonni
<b>Sähkön megawattihinta:</b>	<b>29,60 = 1,1*26,91</b>	EUR / MWH
<b>Sähkön megawattihinta:</b>	<b>221,10 = 1,1*201</b>	NOK / MWH
<b>Palkkakulut Suomessa:</b>	<b>14,6891 = 553*0,17*(1-0,375)/4</b>	Miljoonaa euroa / kvartaali
<b>Palkkakulut Norjassa:</b>	<b>66,1008 = 553*0,17*0,375/4*7,5</b>	Miljoonaa kruunua / kvartaali

Sinkin myynti ja jalostusmäärät ilmenevät Outokummun 2002 vuosikertomuksesta ja niitä on käsitelty luvussa 4.1.1. Luvussa 4.1.4 on todettu, että sinkkitoiminnan katteena voidaan pitää jalostuspalkkiota. Luvussa 4.1.2 on taas esitetty esimerkki osuusmaksun määrittymisestä.

Kuten todettu sähkön megawattihinta ei todellisuudessa ole deterministinen parametri vaan vaihtelee rajusti vuodenajan, sademäärien ja lämpötilan suhteen. Tässä mallissa rajataan sähkön hinta vakioksi, joka osittain heijastaa sitä, että Outokumpu suojaa sähkön hintaa 80–100 prosenttisesti vuoden horisontilla. Sähkön hinta erotellaan tehtaiden sijainnin mukaan Norjan kruunuiksi tai euroiksi. Mallissa sähkön hintana pidetään vuoden 2002 keskiarvoa korotettuna 10 % preemiolla. Sähkönhinta on saatu pohjoismaisen sähköpörssin Nordpoolin kotisivuilta ([www.nordpool.com](http://www.nordpool.com)).

Sähkön hintaa voidaan pitää sinkin jalostuksen muuttuvana kuluna. Sinkin jalostuksen kiinteinä kuluina pidetään mallissa vain suurinta menoerää eli palkkakuluja. Muut kiinteät kulut rajataan mallista pois. Palkkakulut on laskettu vuoden 2002 vuosikertomuksesta. Palkkakulujen voidaan olettaa pysyvän samalla tasolla myös vuonna 2003. Koko Outokumpu konsernin palkkakulut vuonna 2002 olivat 553 miljoonaa euroa,



josta sinkkidivisioonan osuus oli 17 %. Sinkkidivisioonan osuus jaettiin tehtaiden kesken tuotanto-osuuksien mukaisesti. Norjan osuus koko kapasiteetista on 0,15/0,41 eli 37,5 %. Norjan osuus euromääräisistä palkoista on käännetty kruunuiksi käyttäen vuoden 2002 keskikurssia, jotta valuuttakurssiriskit kohdistuvat oikeissa määrin ko. valuutoille. Konsernin tulothan syntyivät pääosin US-dollarimääräisesti, mutta menot tehtaiden paikallisvaluutoissa.

Luvussa 4.2.5 esitetyllä aikasarjamallilla generoidaan skenaariot valuuttojen vaihtokursseille sekä sinkin hinnalle vuodelle 2003. Ensimmäisen kvartaalin hinnat on generoitu *Lattice rule* –menetelmällä. Menetelmän tarkoituksena on tuottaa *Monte Carlo*-simulointia tarkempi approksimaatio ensimmäisen kvartaalin satunnaismuuttujien jakaumalle. Muiden kvartaalien hinnat on generoitu Monte Carlo –simuloinnilla. *Lattice rule* –menetelmään voi tutustua laajemmin L’Ecuyer’in ja Lemieux’n (2000) artikkelissa *Variance Reduction via Lattice Rules*.

Generoitujen hintojen perusteella lasketaan kaavan 4.1 liikevoittofunktion mukaan kaikkiaan 255 skenaariota tulokselle  $w_t$ , jota voidaan optimoida edellä esitettyjä tavoitefunktioita käyttäen. Johdannaisportfolio koostuu tavoitefunktioiden mukaan ostetuista ja myydyistä johdannaisista sekä nollakuponkilainoista. Simulaation nojalla skenaariotodennäköisyydet kussakin informaatiojoukossa ovat yhtä suuria.

## 5 Tulokset

Tässä luvussa esitellään mallin tulokset käyttäen erilaisia, edellisessä luvussa esiteltyjä tavoitefunktioita. Alkuun on todettava, että käytetyt optioiden hinnat aiheuttivat ongelman ratkaisua optimoitaessa. Optioita käytettäessä malli löysi aina niin sanotun myynti-ostopariteetin (put-call-parity), jolloin asettamalla myyntioption ja ostamalla osto-option, joiden lunastushinnat ja erääntymishetket ovat samat, pystytään hyödyntämään arbitraasimahdollisuutta. Tähän ongelmaan palataan luvussa 5.2. Luvussa 5.3 pohditaan mallin kehittämisen kannalta kriittisiä asioita. Tässä kappaleessa, puhuttaessa tuloksesta, tarkoitetaan sillä liikevoittoa, johon on lisätty rahoitustuotot ja -kulut. Johdannaisten ja nollakuponkilainojen transaktiokulut kirjataan mallissa vuoden 2002 kuluksi.

### 5.1 Mallin tulosten esittely

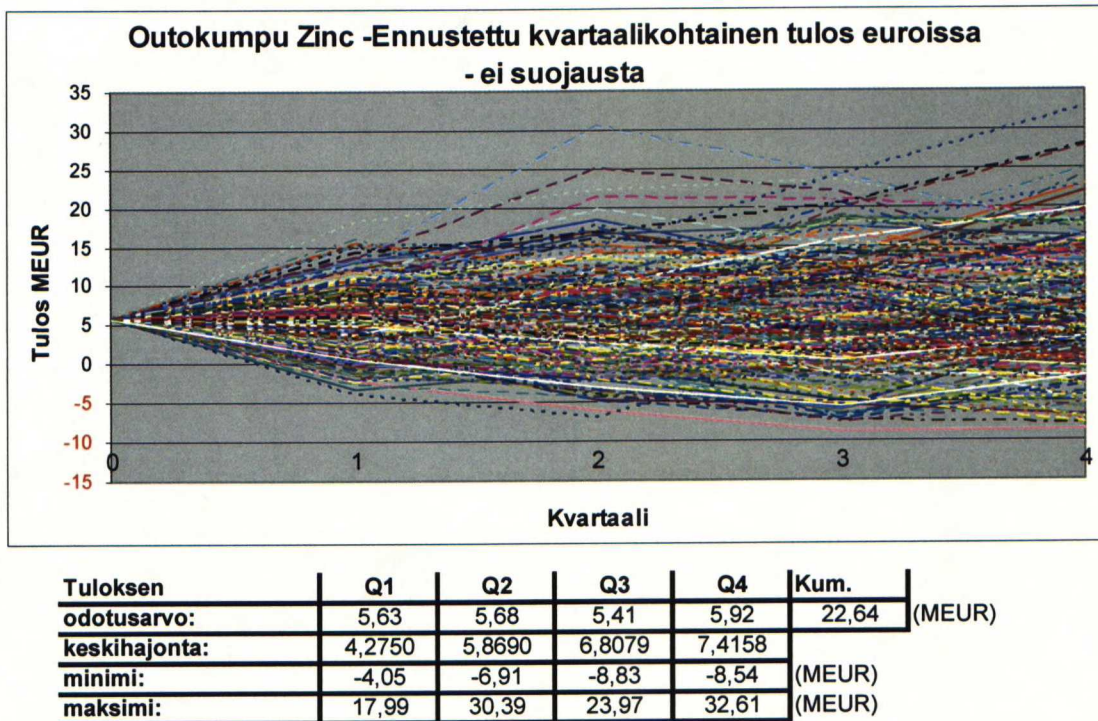
Tulosten esittely lähtee liikkeelle suojaamattomasta tuloksesta, luku 5.1.1. Luvussa 5.1.2 esitellään Outokummun nykyisen strategian mukainen tulos, minkä mukaan sinkkiä ei juuri suojata vaan tunnetut valuuttariskit suojataan täysimääräisesti. Tämän jälkeen luvussa 5.1.3 esitellään kvadraattisen sakkotavoitefunktion mukaan optimoitu valuuttasuojaus sekä täysvaltainen optimoitu suojaus, jossa myös sinkki on suojattuna. Luvussa 5.1.4 esitetään kvartaalipoikkeamasta sakottavan tavoitefunktion mukaisesti suojattu tulos.

#### 5.1.1 Suojaamaton tulos

Optimointimalli ennustaa Outokumpu Oyj:n sinkkidivisioonan liikevoiton vuodelle 2003. Liikevoittoa tarkastelemalla havaitaan, kuinka se kehittyy suhteessa sinkin, Norjan kruunun ja euron hintoihin. Generoidut hinnat edellä mainituille faktoreille on esitetty kuvissa 7-9. Kuva 11 havainnollistaa sinkkidivisioonan kvartaalikohtaista liikevoittoa ilman suojausta.



Kuva 11: Ennustettu kvartaalikohtainen tulos vuodelle 2003 ilman johdannaisten käyttöä



Outokumpu Zinc toteutunut tulos vuoden 2003 ensimmäiselle kvartaalille oli 5 miljoonaa euroa ([www.outokumpu.com](http://www.outokumpu.com)). Tulokseen ei sisälly kertaluonteisia eriä mutta siinä näkyy vuotta aikaisemmin tehtyjen dollaritermiinien positiivinen tulosvaikutus. Mallin ennuste ensimmäisen kvartaalin liikevoitolle olettaen, että olemassa olevaa johdannaisportfoliota ei ole, oli keskimäärin 5,6 miljoonaa euroa keskihajonnan ollessa 4,3. Ennusteen vaihteluväli on puolestaan -4 - 18 MEUR. Mallin tulosten ja Outokummun edustajan haastattelujen perusteella voimme olla tyytyväisiä mallin ennustamaan Outokummun sinkkidivisioonan liikevoittoon ensimmäiseltä kvartaalilta.

Liikevoiton odotusarvo muille kvartaaleille näkyy kuvasta 11, missä skenaariopuu kuvaa kvartaalikohtaisen tuloksen kehittymistä. Kuten kuvasta havaitaan, pysyy liikevoiton odotusarvo 5,5-6 MEUR haarukassa keskihajonnan kasvaessa ajan suhteen tasaisesti. Kuva 11 antaa keskihajonnan määrästä visuaalisesti virheellisen kuvan suurimman osan skenaarioista keskittyessä lähelle odotusarvoa. Äärimmäiset skenaariot, minimi- ja



maksimiarvot kertovat, kuinka paljon liikevoitto voi painua tappiolle ilman johdannaisten käyttöä, hintojen epäsuotuisan kehityksen takia. Mallin mukaan viimeisen kvartaalin negatiivisen tuloksen todennäköisyys on 19,5 %.

### 5.1.2 Outokummun nykyisen suojausstrategian mukainen tulos

Outokummun nykyisen strategian mukaan sinkkiriskiä ei juuri suojata vaan vain tunnetut valuuttariskit suojataan täysimääräisesti. Tällöin kyseessä ei ole johdannaisten osalta optimointiongelma, vaan täydellinen valuuttasuojaus. Nollakuponkilainojen osalta ongelmaa optimoitaessa käytettiin edellä esitettyä (kaava 4.15) max-min-kriteeriä. Täydellinen valuuttasuojaus voidaan toteuttaa muokkaamalla liikevoittofunktiota. Tällöin kiinteät palkkiot ja kulut erotetaan sinkin hinnasta riippuvista palkkioista. Sinkin hinnasta riippuvat dollaripalkkiot jätetään mallin mukaan suojaamatta. Mallin mukainen johdannaisportfolio esitetään taulukossa 4. Johdannaisportfolio sisältää 3, 6, 9 ja 12 kuukauden kuluttua erääntyvät termiinit Norjan kruunulle sekä eurolle.

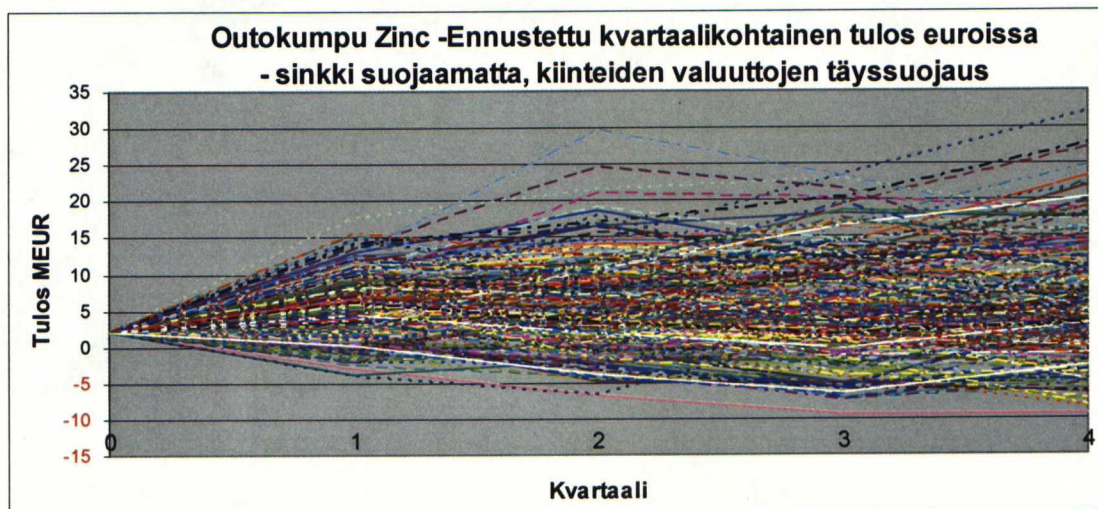
**Taulukko 4: Johdannaisportfolion koostumus täydellisen valuuttasuojauksen mukaisesti**

Johdannaiset:		Suojausportfolio:					
Ostetut:	3 kk	6 kk	9 kk	12 kk	Kum.		(maturiteetti)
EUR/USD	0	0	0	0	0		(miljoona kpl)
NOK/USD	99,2658	99,2658	99,2658	99,2658	397,0632		-"
SINKKI	0	0	0	0	0		-"
Myydyt:	3 kk	6 kk	9 kk	12 kk	Kum.		(maturiteetti)
EUR/USD	8,25242	8,37979	8,5014	8,61957	33,7532		(miljoona kpl)
NOK/USD	0	0	0	0	0		-"
SINKKI	0	0	0	0	0		-"
Nollakuponkilainat:	3 kk	6 kk	9 kk	12 kk	Kum.		(maturiteetti)
Ostetut:	0	1,32692	6,83192	9,56388	17,7227		(miljoona kpl)
Myydyt:	15,3416	0	0	0	15,3416		-"

Mallin mukaan yrityksen pitäisi suojata Norjan kruunuissa aiheutuvia kuluja ostamalla joka kvartaali erääntyviä NOK/USD -valuuttatermiinejä 99 miljoonaa kappaletta sekä suojata dollarisaamisiaan myymällä joka kvartaali erääntyviä EUR/USD -valuuttatermiineitä noin 8,5 miljoonaa kappaletta. Termiinien toteutushinnat on esitetty taulukossa 2.

Ostettujen nollakuponkilainojen tuotolla yritys voi tasata eri kvartaalien tulosta. Koska nollakuponkilainojen tuotot kasvavat suhteessa aikaan, ostaa optimointimalli yleisesti pisimmän maturiteetin lainoja. Näitä ostoja yritys rahoittaa myymällä lyhyempiä nollakuponkilainoja. Tässä tapauksessa yritys ostaa 6, 9 ja 12 kuukauden kuluttua erääntyviä nollakuponkilainoja yhteensä 17,7 miljoonaa kappaletta. Ostojaan yritys rahoittaa myymällä alussa kolmen kuukauden päästä erääntyviä nollakuponkilainoja yhteensä 15,3 miljoonaa kappaletta. Näin yritys voi hankkia lisää tai sijoittaa ylimääräistä varallisuuttaan eri kvartaaleilla. Johdannaisportfolion mukainen valuuttojen osalta optimoimaton kvartaalikohtainen tulos esitetään kuvassa 12.

Kuva 12: Ennustettu kvartaalikohtainen tulos, sinkki suojaamatta, tunnetut valuuttariskit suojattu



Suojatun tuloksen	Q1	Q2	Q3	Q4	Kum.	
odotusarvo:	5,45	5,52	5,32	5,84	22,13	(MEUR)
keskihajonta:	4,2106	5,7568	6,7031	7,3295		
minimi:	-4,01	-6,75	-9,39	-9,39		(MEUR)
maksimi:	17,59	29,66	23,43	31,85		(MEUR)
Verrattuna suojamattomaan	Q1	Q2	Q3	Q4	Kum.	
od. arvон erotus:	-0,18	-0,16	-0,09	-0,08	-0,51	(MEUR)
keskihajonnan % ero:	1,51 %	1,91 %	1,54 %	1,16 %		

Mallin mukaan Outokummun nykyisen suojausstrategian ja suojaamattoman tapauksen kumulatiivinen odotusarvon erotus on 0,51 miljoonaa euroa negatiivinen mutta riski (keskihajonta) on pienentynyt vain marginaalisesti. Kuvassa keskihajonnan prosentuaalinen ero merkitsee sitä, kuinka paljon suojaustoimenpiteet ovat pienentäneet



keskihajontaa verrattuna suojaamattomaan tapaukseen. Kuvan 12 tapauksessa kvartaalikohtaiset keskihajonnat ovat vajaa 2 % suojaamatonta pienempiä, eivätkä ääriskenaariotkaan ole juuri pienentyneet (suojaamattoman vaihteluväli Q1 -4,05 – 17,99 ja suojatun vaihteluväli Q1 -4,01 – 17,59). Skenaariopuu muistattaa hyvin paljon suojaamatonta tapausta. Mallin tulosten valossa voidaan todeta, että nykyinen suojausstrategia ei anna juuri lisäarvoa verrattuna suojaamattomaan strategiaan.

### 5.1.3 Tulos suojattuna kvadraattisen sakkotavoitefunktion mukaisesti

Optimoinnin tehokkuuden tarkastelun tekee mielenkiintoiseksi sen vertaaminen edellä esitettyyn tapaukseen, missä tiedossa olevat valuuttariskit olivat täysin suojattuja. Tarkastelemalla asiaa optimointiongelmana, palataan kaavassa 4.12 esitettyyn tavoitefunktioon. Tavoitefunktio sakottaa tällöin kvadraattisesti tuloksen poikkeamisesta tavoitetasostaan, joka on noin 5 MEUR. Koska sinkkitermiineitä ei käytetä, lisätään tavoitefunktioon vielä rajoitus, että sinkkitermiinien määrä kullakin kvartaalilla on nolla. Optimoitu johdannaisportfolio esitetään taulukossa 5 sekä optimoitu kvartaalikohtainen tulos esitetään kuvassa 13.

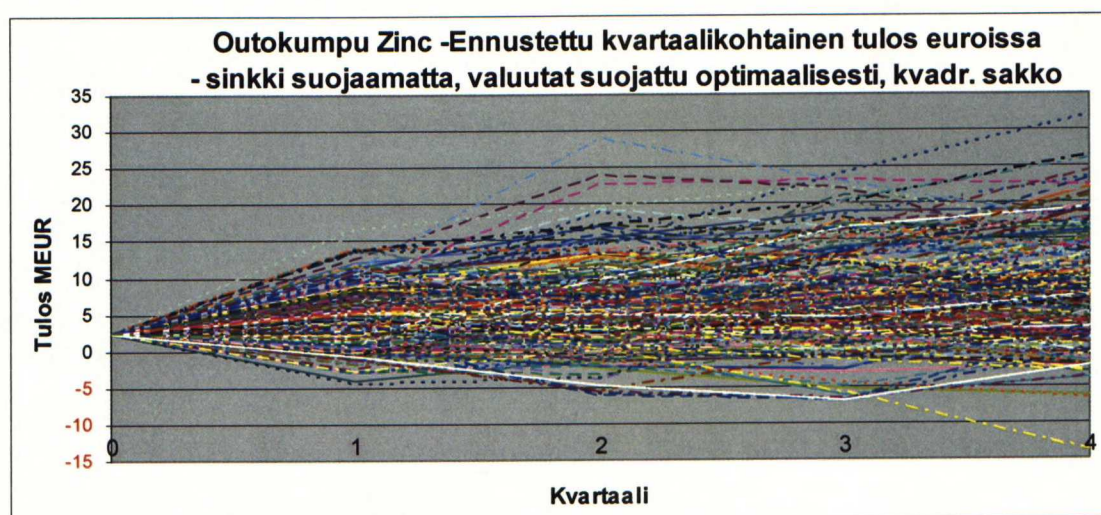
**Taulukko 5: Johdannaisportfolion koostumus optimaalisen valuuttasuojauksen mukaisesti**

Johdannaiset:		Suojausportfolio:					
Ostetut:	3 kk	6 kk	9 kk	12 kk	Kum.		(maturiteetti)
EUR/USD	15,9897	25,3219	30,3229	26,2813	97,9158		(miljoona kpl)
NOK/USD	0	0	0	0	0		“-
SINKKI	0	0	0	0	0		“-
Myydyt:	3 kk	6 kk	9 kk	12 kk	Kum.		(maturiteetti)
EUR/USD	0	0	0	0	0		(miljoona kpl)
NOK/USD	0	0	0	0	0		“-
SINKKI	0	0	0	0	0		“-
Nollakuponkilainat:	3 kk	6 kk	9 kk	12 kk	Kum.		(maturiteetti)
Ostetut:	0	0	66,6693	66,4692	133,1385		(miljoona kpl)
Myydyt:	128,601	0	0	0	128,6010		“-



Mallin mukaan EUR/USD -valuuttatermiineitä pitäisi ostaa yhteensä 98 miljoonaa kappaletta. Huomion arvoista on, että optimointimallin mukaan NOK/USD-valuuttatermiinien osto/myynti ei paranna yrityksen tulosta. Pakottamalla malli ostamaan NOK/USD- valuuttatermiineitä huononi sekä kumulatiivinen tulos, että suureni keskihajonta. Luvussa 5.3 pohditaan mahdollisia syitä, miksi optimointimallin mukaan ei ole optimaalista suojautua Norjan kruunun kurssivaihtelua vastaan.

Kuva 13: Ennustettu kvartaalikohtainen tulos, sinkki suojaamatta, valuutat suojattu optimaalisesti



Suojatun tuloksen	Q1	Q2	Q3	Q4	Kum.	
odotusarvo:	4,66	5,63	6,90	7,77	24,95	(MEUR)
keskihajonta:	4,0537	5,4292	6,1458	6,8377		
minimi:	-4,51	-6,31	-7,01	-13,70		(MEUR)
maksimi:	16,54	28,80	24,00	32,03		(MEUR)
Verrattuna suojaamattomaan	Q1	Q2	Q3	Q4	Kum.	
od. arvон erotus:	-0,97	-0,05	1,48	1,85	2,31	(MEUR)
keskihajonnan % ero:	5,18 %	7,49 %	9,73 %	7,80 %		

Tarkastelemalla kuvaa 13, huomataan kumulatiivisen odotusarvon olevan 2,3 miljoonaa euroa parempi kuin suojaamattomassa tapauksessa sekä keskihajonnan olevan eri kvartaaleilla 5 – 10 % pienempi. Tapaus on siis parempi kuin suojaamaton, riippumatta päätöksen tekijän suhtautumisesta riskiin. Vertaamalla tuloksia tapaukseen, missä valuutat olivat täysin suojattuja, havaitaan optimoinnin hyöty. Tulosten kumulatiivinen odotusarvo on suurempi mutta riski kaikilla kvartaaleilla pienempi.

Lisäämällä johdannaisportfolioon sinkkitermiinit pystytään pienentämään keskihajontaa ja välttymään negatiivisilta tulokvartaaleilta. Optimoimalla johdannaisportfolioa kaavassa 4.12 esitetyn tavoitefunktion mukaisesti, päästään edellä mainittuihin tavoitteisiin kaikissa muissa paitsi ensimmäisessä kvartaalissa. Johdannaisportfolio sisältää tällöin 3, 6, 9 ja 12 kuukauden kuluttua erääntyvät termiinit Norjan kruunulle, eurolle ja sinkille. Sen koostumus esitetään taulukossa 6.

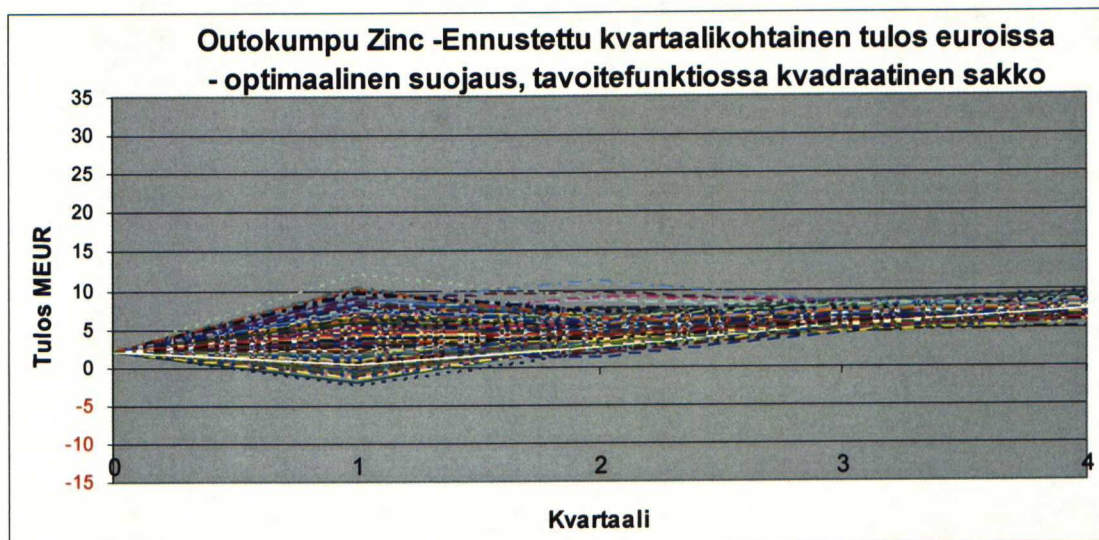
**Taulukko 6: Johdannaisportfolion koostumus kvadraattisen sakkotavoitefunktion mukaisesti**

Johdannaiset:		Suojausportfolio:					
Ostetut:	3 kk	6 kk	9 kk	12 kk	Kum.		(maturiteetti)
EUR/USD	17,9369	30,846	36,6042	35,8235	121,2106		(miljoona kpl)
NOK/USD	0	0	0	0	0		-"
SINKKI	0	0	0	0	0		-"
Myydyt:	3 kk	6 kk	9 kk	12 kk	Kum.		(maturiteetti)
EUR/USD	0	0	0	0	0		(miljoona kpl)
NOK/USD	0	0	0	0	0		-"
SINKKI	0,015661	0,034253	0,041619	0,043029	0,134562		-"
Nollakuponkilainat:	3 kk	6 kk	9 kk	12 kk	Kum.		(maturiteetti)
Ostetut:		1,7871	80,8391	80,7899	163,4161		(miljoona kpl)
Myydyt:	158,5550	0	0	0	158,5550		-"

Optimointimalli ostaa portfolioon taulukon 4 mukaisesti yhteensä 121,2 milj. kappaletta eri kvartaaleina erääntyviä EUR/USD – termiineitä. Sinkkitermiineitä myydään yhteensä 0,135 milj. kappaletta. Nollakuponkilainoja ostetaan ja myydään taulukon 6 mukaisesti. Kvadraattisen sakkotavoitefunktion mukaan optimaalisesti suojattu tuloksen kehitys esitetään kuvassa 14.



Kuva 14: Ennustettu kvartaalikohtainen tulos vuodelle 2003 optimaalisesti suojattuna



Suojatun tuloksen	Q1	Q2	Q3	Q4	Kum.	
odotusarvo:	3,86	4,59	6,29	7,16	21,90	(MEUR)
keskihajonta:	2,7491	1,5140	0,8095	0,7930		
minimi:	-2,41	1,13	4,24	4,91		(MEUR)
maksimi:	11,91	11,07	8,57	9,39		(MEUR)
Verrattuna suojaamattomaan	Q1	Q2	Q3	Q4	Kum.	
od. arvon erotus:	-1,77	-1,08	0,88	1,24	-0,74	(MEUR)
keskihajonnan % ero:	35,69 %	74,20 %	88,11 %	89,31 %		

Kuvasta 14 huomataan kuinka johdannaisia käyttämällä keskihajonta pienenee merkittävästi. Neljännen kvartaalin keskihajonta eli riski on jopa 89 % pienempi verrattuna edellä esitettyyn suojaamattomaan skenaariopuuhun. Näin suojatun tuloksen odotusarvo on kumulatiivisesti vajaa 0,7 MEUR:a pienempi kuin suojaamattoman. Suojattu tulos tukee väitettä riskin ja tuoton suhteesta mutta neljännellä kvartaalilla tuloksen ollessa 1,24 MEUR:a parempi % sekä riskin ollessa 84 % pienempi, voidaan riskinkarttajan näkökulmasta todeta suojauksen kannattavan. Tuloksen lineaarinen nousu johtuu nollakupongkilainojen tuotoista. Ensimmäisen kvartaalin negatiivisen tuloksen todennäköisyys on ainoastaan 7 prosenttia.

Vertaamalla edellä esitettyjä kolmea tapausta, havaitaan sinkin suojaamisen merkitys. Sinkkitermiinien optimaalisella myynnillä voidaan käytännössä välttää negatiiviset tuloskvartaalit ja pienentää keskihajontaa jopa 89 %. Optimoidulla johdannaisportfoliolla



voidaan päästä päätöksentekijän (riskinkarttajan) kannalta mielekkäämpään ratkaisuun, jossa riski on pienempi tulosten odotusarvon kärsiessä vain hieman.

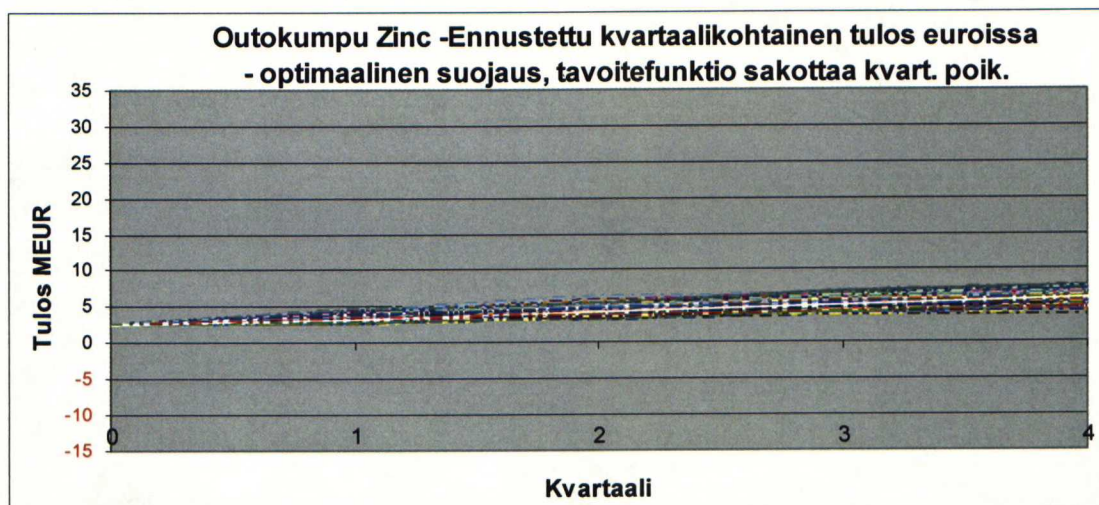
#### 5.1.4 Tulos suojattuna kvartaalipoikkeamasta sakottavan tavoitefunktion mukaisesti

Edellisessä luvussa sakotettiin tuloksen poikkeamisesta tavoitetasostaan. Tässä luvussa käytetään kaavassa 4.14 esitettyä tavoitefunktiota, joka sakottaa poikkeamasta edelliseen kvartaaliin nähden. Optimoitu kvartaalipoikkeamasta sakottavan tavoitefunktion mukainen johdannaisportfolio esitetään taulukossa 7 ja kvartaalitulos kuvassa 15.

**Taulukko 7: Johdannaisportfolion koostumus poikkeamasta sakottavan tavoitefunktion mukaisesti**

<b>Johdannaiset:</b>		<b>Suoiausportfolio:</b>					
	3 kk	6 kk	9 kk	12 kk	Kum.		(maturiteetti)
<b>Ostetut:</b>							(miljoona kpl)
EUR/USD	34,2398	35,7127	36,5579	36,7128	143,2232		
NOK/USD	0	0	0	0	0		-"
SINKKI	0	0	0	0	0		-"
<b>Myydyt:</b>	3 kk	6 kk	9 kk	12 kk	Kum.		(maturiteetti)
EUR/USD	0	0	0	0	0		(miljoona kpl)
NOK/USD	0	0	0	0	0		-"
SINKKI	0,04263	0,04303	0,043498	0,043655	0,172814		-"
<b>Nollakuponkilainat:</b>	3 kk	6 kk	9 kk	12 kk	Kum.		(maturiteetti)
Ostetut:	0	0	29,0086	26,8326	55,8412		(miljoona kpl)
Myydyt:	57,3778	0	0	0	57,3778		-"

Kuva 15: Ennustettu kvartaalipoikkeamasta sakottavan tavoitefunktion mukaisesti suojattu tulos



Suojatun tuloksen	Q1	Q2	Q3	Q4	Kum.
odotusarvo:	3,52	4,36	5,19	5,69	18,75
keskihajonta:	0,4333	0,5842	0,6523	0,7395	
minimi:	2,47	2,89	3,59	3,67	
maksimi:	4,66	6,35	7,05	7,83	
Verrattuna suojamattomaan	Q1	Q2	Q3	Q4	Kum.
od. arvон erotus:	-2,11	-1,32	-0,23	-0,23	-3,89
keskihajonnan % ero:	89,86 %	90,05 %	90,42 %	90,03 %	

Vertaamalla tätä tapausta suojaamattomaan, havaitaan odotusarvon olevan kumulatiivisesti noin 3,9 MEUR:a pienempi ja myös keskihajonnan olevan kaikilla kvartaaleilla noin 90 prosenttia pienempi. Hankkimalla edellä esitetyn johdannaisportfolion mukaisesti johdannaisia saadaan aikaiseksi erittäin kapea skenaariopuu. Vertaamalla vaihtoehtoisen tavoitefunktion mukaista suojausta kvadraattiseen sakkotavoitefunktion tapaukseen havaitaan odotusarvon olevan noin 3 MEUR:a huonompi. Keskihajonta kvadraattisessa sakkotavoitefunktion mukaisessa tapauksessa on ensimmäisellä ja toisella kvartaalilla selvästi yllä mainittua tapausta suurempi.

Mikäli päätöksentekijän ei ole tyytyväinen edellä esitettyihin tuloksen skenaariopuihin, voidaan edellä käytettyjä tavoitefunktioita vielä modifioida lisäämällä esimerkiksi ei-

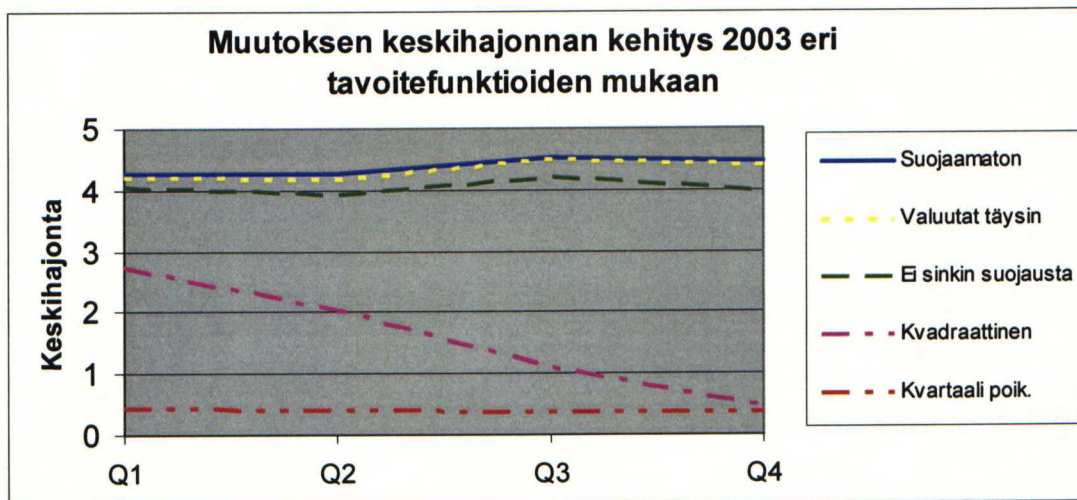


negatiivisuus tai muutosrajoituksia. Rajoitteita muokkaamalla voidaan skenaariopuuta muuttaa vastaamaan vielä tarkemmin päätöksentekijän preferenssejä.

#### 5.1.5 Muutoksen keskihajonnan kehitys eri tavoitefunktioiden mukaan

Edellä keskihajonnat on laskettu kunkin kvartaalin tulosten hajonnasta. Vaihtoehtoinen tarkastelutapa on tutkia muutosten keskihajontaa. Keskihajonta lasketaan tällöin kunkin skenaarion tulosten muutoksista edelliseen kvartaaliin nähden. Kuvassa 16 esitetään yhteenveto eri tavoitefunktioiden mukaan vuoden 2003 tulosten muutosten keskihajonnasta.

Kuva 16: Yhteenveto tuloksen muutoksen keskihajonnan kehityksestä eri tavoitefunktioiden mukaan



Kuvasta 16 havaitaan, että kaikissa muissa strategioissa paitsi kvadraattisen sakon tapauksessa muutoksen keskihajonta pysyy likimain samana. Verrattaessa muutosten keskihajontaa aiemmin esitettyihin, havaitaan skenaariomuutosten olevan kvartaalimuutoksia vähäisempiä. Esimerkiksi kvartaalipoikkeamasta sakottavan tavoitefunktion tapauksessa Q4 muutosten keskihajonta on alle 0,5, kun taas kvartaalikeskihajonta on noin 0,8.



### 5.1.6 Suojauskustannukset

Mallissa suojauskustannukset vaikuttavat vuoden 2002 tulokseen. Näin eri kvartaalien tulokset ovat vertailukelpoisia eikä suojauskustannuksia tarvitse jaksottaa eri kvartaaleille. Vaihtoehtoisesti malli olisi voitu laatia niin, että suojauskustannukset vaikuttavat vain ensimmäisen kvartaalin tulokseen.

Taulukosta 8 havaitaan kuinka suojauskustannukset vaikuttavat yrityksen nettotulokseen. Suurimmat suojauskustannukset ovat strategissa, jossa valuutat suojataan täysimääräisesti. Kustannukset ovat tällöin noin 900 000 euroa vuodessa. Huomionarvoista on, että kvartaalipoikkeamasta sakottavan tavoitefunktion mukaisesti suojattu nettotulos lähenee kvadraattista tapausta, kun suojauskustannukset lasketaan mukaan tulokseen.

**Taulukko 8: Suojauskustannusten vaikutus yrityksen nettotulokseen (MEUR)**

	Ei sinkin suojausta	Suojaamaton	Valuutat täysin	Kvadraattinen	Kvartaali poik.
<b>Tulos 2003</b>	(meur) 24,95	22,64	22,13	21,90	18,75
<b>Suojauskust.</b>	(meur) -0,71	0,00	-0,93	-0,88	-0,52
<b>Nettotulos</b>	(meur) 24,24	22,64	21,20	21,02	18,23

## 5.2 Tuloksiin liittyviä ongelmia

Kuten aiemmin todettiin, optioiden hintaan liittyi arbitraasiongelmia. Sitä ja muita johdannaisdataan liittyviä ongelmia käsitellään luvussa 5.2.1. Luvussa 5.2.2 luodaan katsaus malliriskiin, tutkimuksen luotettavuuteen sekä empiirisen mallin kannalta kriittisimpiin vaiheisiin.

### 5.2.1 Puutteellinen johdannaisdata

Mallin johdannaisdata perustuu julkisiin futuurinoteerauksiin. Ongelmana datan keruussa olivat puutteelliset noteeraukset Norjan kruunu- ja sinkkifutuureille. Todellisuudessa Outokumpu ostaa termiinejä OTC-markkinoilta, jolloin pankki hinnoittelee termit jo liikkeelle laskettujen futuurien perusteella. Tässä pilottimallissa ei ollut saatavilla

pankkien noteeraamia termiinihintoja, vaan puuttuvat maturiteetit interpoloitiin toteutushintakäyrältä.

Valuuttafutuurit erääntyvät yleensä kolmen kuukauden välein, kuun 15. päivä. Mallissa oletettiin vastoin todellisuutta, että termiinit erääntyvät aina kvartaalin viimeisenä päivänä. Näiden oletusten ei katsota oleellisesti heikentävän pilottimallin informatiivisuutta eikä luotettavuutta.

Optioiden hinnat laskettiin Black & Scholesin valuuttaoptiohinnoittelumenetelmää käyttäen. Kuten on todettu, ei optioita pystytty ottamaan johdannaisportfolioon mukaan osto-myyntipariteetin takia. Syynä pariteettiin saattaa olla joko historiadatasta puutteellisesti estimoitu keskihajonta tai se, että optiot hinnoiteltiin Black & Scholesin mukaan kun taas kohde-etuus (EUR/USD -vaihtokurssi) estimoitiin mean-reversion -menetelmällä. Optioiden mukaan ottaminen olisi todennäköisesti parantanut yrityksen tulosta, mutta koska Outokumpu ei juuri käytä optioita riskienhallintainstrumentteina, ei tämäkään ongelma ole mallin tulosten kannalta ratkaiseva, vaan pikemminkin mielenkiintoinen kehityskohde.

### *5.2.2 Malliriski ja tutkimuksen luotettavuus*

Malliriskillä tarkoitetaan sitä riskiä, että luodussa mallissa on virhe, minkä takia saadut tulokset eivät ole luotettavia. Malliriski johtuu yleensä virheistä mallia mallinnettaessa tai mallintamisen vaikeudesta. Tässä tutkielmassa kriittisimmät vaiheet ovat aikasarjamallinnus sekä liikevoittofunktio (kaava 4.1). Malliriski vaikuttaa siihen, uskaltaako päätöksentekijä luottaa mallin antamiin tuloksiin ja käyttää niitä hyväkseen suojauspäätöksiä tehdessään.

Luotu aikasarjamalli mallintaa kohtuullisen hyvin lyhyen aikavälin valuuttakursseja sekä sinkin hintaa. Ongelmana oli Norjan kruunun mallintaminen ilman korkojen huomioon ottamista. Aikasarjamallien mukaan hinnat ovat keskiarvohakuisia. Malli toimii, mikäli



suhdanteissa ei tapahdu äkillisiä muutoksia eikä maailman taloudessa shokkeja, kuten terrori-iskuja tai euron/dollarin äkillistä vahvistumista.

Liikevoittofunktio on mallin toinen kriittinen tekijä. Mikäli funktio on luotu väärin, ovat mallin antamat riskikertoimet vääriä ja täten optimoitu johdannaisportfolio virheellinen. Mallin tulos ensimmäiseltä kvartaalilta oli yhtenevä Outokummun sinkkidivisioonan toteutuneen tuloksen kanssa, mikä antaa aiheen olettaa, että malli yksinkertaistuksista huolimatta on toimiva. Suurimmat yksinkertaistukset on tehty sähkön hintaan, mikä saattaa aiheuttaa tulos vääristymiä, varsinkin ensimmäisellä ja neljännellä kvartaalilla, talvisähkön korkean hinnan takia. Kiinteissä kustannuksissa eli palkkakuluissa on myös jouduttu tekemään yksinkertaistuksia. Kiinteiden kustannusten osalta kyseessä on kuitenkin vain tuloksen skaalaus ylös tai alas, mikä on helposti korjattavissa, mikäli jatkokehityksen tulokset sitä edellyttävät.

Tämän case -tapaus on pilottimalli ja sen tulokset koulutusesimerkinomaisia, eivätkä sovellu suoraan johdannaisten hallintastrategiaksi, vaikka malli sinänsä toimivuutensa osoittikin. Suurin ongelma tulosten soveltamisessa on edellä mainittu puutteellinen johdannaisdata sekä ”tyhjä” johdannaisten alkuportfolio. Mallin antamia tuloksia voidaan edellä mainituista ongelmista huolimatta pitää yksiselitteisinä, helposti tulkittavissa olevina sekä kohtuullisen luotettavina. Luvussa 5.3 pohditaan, kuinka tässä luvussa esitetyt ongelmat tulisi ratkaista mallin jatkotutkimusta ajatellen.



### 5.3 Mallin jatkotutkimus

Koulutusesimerkin antamat tulokset ovat hyvin rohkaisevia mallin jatkokehittämisen kannalta. Mallia rakennettaessa ja sitä kritisoitaessa nousi esille muutamia kohtia, jotka on ratkaistava ennen mallin soveltamista yrityskäyttöön. Suurin ongelma on deterministisenä mallinnettu sähkön hinta. Sähkön hintaa kuvaavan mallin kehittäminen tai jonkun jo olemassa olevan mallin lisääminen yhdeksi aikasarjamallin faktoriksi on jatkotutkimuksen kannalta välttämätöntä. Tällöin käytettävissä olevaa johdannaisportfoliota voidaan laajentaa sähkötermiineillä.

Toinen vielä mallintamaton faktori on Euribor-korko. Koron mallinnus lisäisi tulosfunktion tarkkuutta ja mahdollistaisi koron ottamisen selittäjäksi Norjan kruunun valuuttakurssia mallinnettaessa. Koron mallinnus onnistuisi vastaavaa mean-reversion -mallia käyttäen.

Optioiden puuttuminen käytettävissä olevasta johdannaisportfoliosta todennäköisen hinnoitteluvirheen takia on selvä puute. Ongelma korjaantunee, kun saadaan käyttöön oikeaa johdannaisdataa. Mikäli optimointimalli kykenee tällöin transaktiokustannuksista huolimatta löytämään arbitraasimahdollisuuden, se tulee käyttää hyväksi. Optioiden käyttö todennäköisesti parantaisi myös yrityksen tuloksen odotusarvoa, koska optioiden tuotto on epälineaarinen. Alkuportfolion lisääminen malliin on myös välttämätöntä, koska tällöin jo ennen ohjelman ajoa on osa riskeistä suojattu. Tämäkään ei ole ongelma, jos olemassa oleva johdannaisportfolio toteutushintoineen ja maturiteetteineen on tiedossa.

Mielenkiintoista olisi myös tutkia tarkemmin miksi optimointimallin mukaan NOK/USD-valuuttatermiinien käyttö ei ole optimaalista. Johtuuko tämä mallissa käytetyistä hinnoista vai onko taustalla jokin muu syy? Myös päätöksentekijän preferenssien tutkiminen tarkemmin olisi erittäin tärkeää. Esimerkiksi tavoitefunktioissa käytetyt painokertoimet ovat kokeilemalla saatuja, eivätkä välttämättä vastaa päätöksentekijän todellisia preferenssejä.

Mielenkiintoinen jatkokehityksen aihe lienee myös yksivaiheisen stokastisen optimointimallin laajentaminen monivaiheiseksi, jolloin suojauspäätöksiä voidaan tehdä joka solmussa. Tämä muutos laajentaisi mallin käyttökelpoisuutta mutta saattaisi vaikeuttaa tulosten tulkittavuutta ja kasvattaisi datan määrää.

Tämän pro gradu työn julkisuuden takia, on mallissa jouduttu approksimoimaan deterministisiä muuttujia kuten tuotanto, jalostuspalkkiot ja palkat. Jatkotutkimuksen kannalta näiden muuttujien tarkempi määrittely lisääntyvän tiedon takia on välttämätöntä. Tulosten valossa voidaan todeta, että jatkotutkimus ja pilottimallin kehittäminen lienee taloudellisesta kannattavaa.



## 6 Yhteenveto

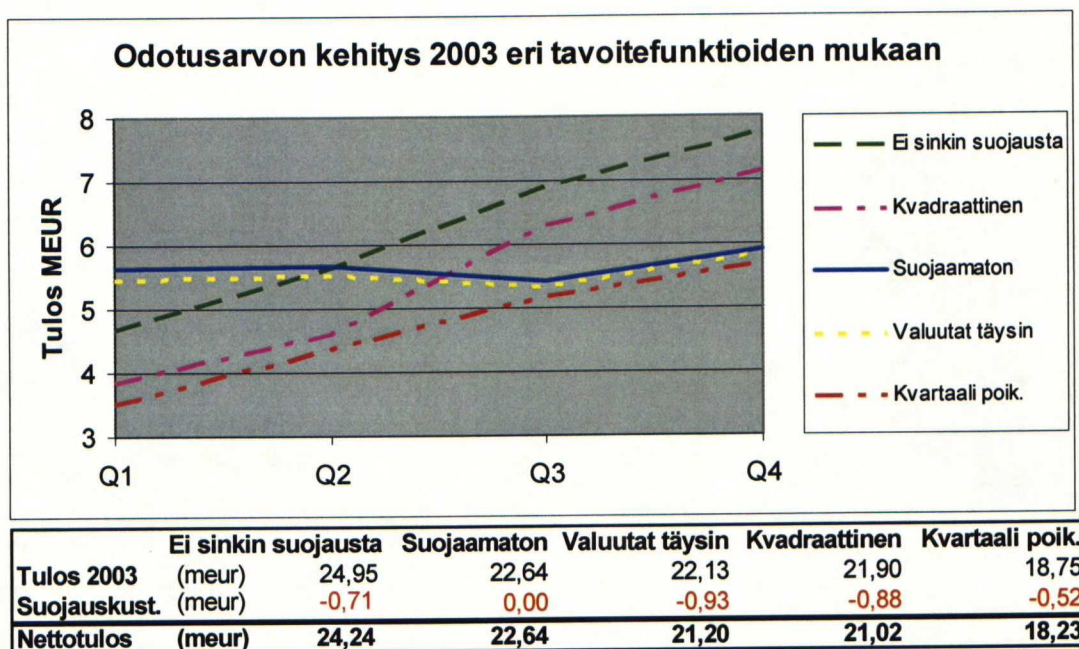
Johdannaissopimuksia voidaan pitää sopimuksina, joiden arvo riippuu kohde-etuuden tulevasta hinnasta. Johdannaissopimukset sisältävät osto- tai myyntilupauksen yksityiskohtaisesti sovitusta määrästä esimerkiksi tiettyä valuuttaa ennalta määrättyyn hintaan. Stokastisella optimoinnilla tarkoitetaan optimointiongelmia epävarmuuden vallitessa. Stokastisessa mallissa epävarmuutta kuvataan skenaariopuulla.

Optimointimallin tavoitteena oli löytää skenaariopuun avulla yritykselle optimaalinen johdannaisportfolio, jolla riskien ja tuloksen riippuvuus saadaan päätöksentekijän preferenssien mukaiseksi. Saatujen tulosten valossa stokastinen optimointi soveltuu hyvin metalliyhtiön optimaalisen suojausportfolion määrittämiseen.

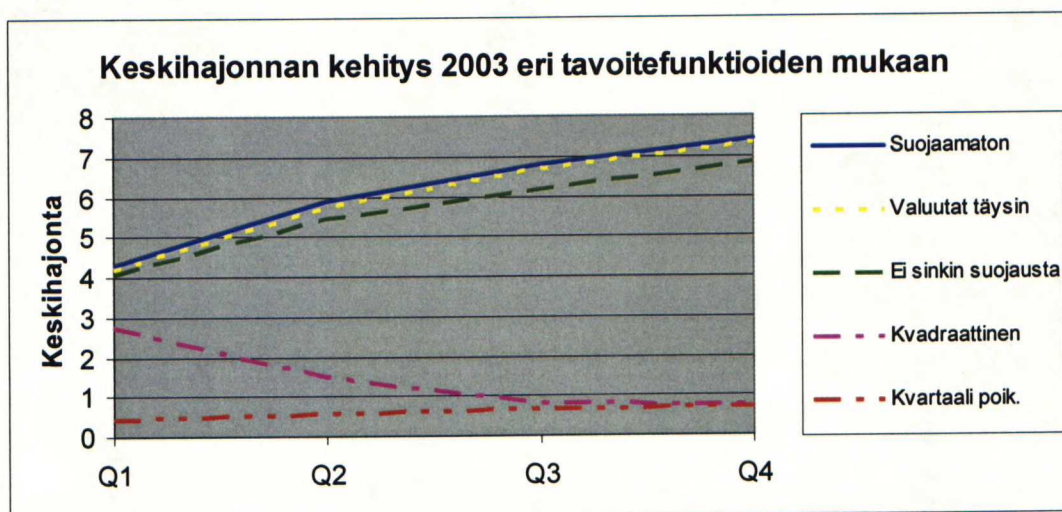
Hyödyn odotusarvoa maksimoitaessa tavoitefunktio muokataan vastaamaan päätöksentekijän preferenssejä. Talousteoriassa on yleisesti todettu riskin ja tuoton välinen suhde, eikä tutkimuksessa käytetty malli tee tästä poikkeusta. Parhaan kumulatiivisen tuoton (24,95 MEUR) tarjoaa strategia, jossa sinkkiä ei suojata ollenkaan mutta valuuttariskit (Norjan kruunu ja US-dollarit) ovat suojattuja kvadraattisesti sakottavan tavoitefunktion mukaisesti. Suurimmat suojauskustannukset (0,93 meur) ovat mallin mukaan Outokummun nykyisessä strategiassa, jossa sinkkiä ei juuri suojata vaan tunnetut valuuttariskit ovat täysimääräisesti suojattuja. Yleisesti tuoton odotusarvo kehittyä ajan suhteen, mikä johtuu periodin alussa ostettujen nollakuponkilainojen tuotosta.

Pienin keskihajonta eli riski on strategiassa, jossa sakotetaan tuloksen poikkeamisesta edelliseen kvartaaliin nähden. Tässä strategiassa myös tuotto on pienin mutta tulosten skenaariopuu hyvin kapea, mikä lienee riskinkarttajan mieleen. Kuvissa 17 ja 18 esitetään yhteenveto vuoden 2003 odotusarvon ja keskihajonnan kehityksestä eri tavoitefunktioiden mukaan.

Kuva 17: Yhteenveto tuloksen odotusarvon kehityksestä eri tavoitefunktioiden mukaan



Kuva 18: Yhteenveto tuloksen keskihajonnan kehityksestä eri tavoitefunktioiden mukaan



Kuvasta 17 havaitaan suojaamattoman tapauksen odotusarvon pysyvän likimain vakioisena kvartaalista toiseen. Tämä johtuu aikasarjojen stationaarisuudesta sekä tuotantovolyyymien vakioisuudesta eri kvartaaleilla. Vaikka odotusarvo eri kvartaaleilla on likimain sama, on eri skenaarioiden välillä suuria vaihteluita (kts. kuva 11).



Tulosten perusteella voidaan sanoa, että Outokummun nykyinen suojausstrategia, missä sinkkiä ei suojata vaan vain tunnetut valuuttariskit suojataan täysimääräisesti ("Valuutat täysin", kuvissa keltainen katkoviiva) ei ole paras mahdollinen vaihtoehto. Suojausportfolion optimointi ("Ei sinkin suojausta", vihreä katkoviiva) parantaa sekä tulosta että pienentää keskihajontaa. Päätöksentekijän kannalta parhaaseen riski-tuotto-suhteeseen päästään optimoitaessa tavoitefunktioita, joka sakottaa kvartaalitulosten poikkeamisesta keskiarvotasostaan tai tuloksen poikkeamisesta edellisen kvartaalin tuloksiin verrattuna. Kumpi näistä on parempi, riippuu päätöksentekijän preferensseistä.

Saadut tulokset ovat yksiselitteisiä ja helposti tulkittavissa olevia. Tämä pro gradu - tutkielma on pilottimalli ja sen tulokset ovat koulutusesimerkinomaisia yhdeltä päivältä laskettuja, eivätkö sovellu suoraan johdannaisten hallintastrategiaksi, vaikka malli sinänsä osoittikin toimivuutensa. Jatkotutkimuksen kannalta tulisi pohtia ainakin seuraavia asioita: Sähkön hinnan mallintaminen ja sähköjohdannaisten lisääminen johdannaisportfolioon, ohjelman ajo oikealla johdannaisdatalla, optioiden ottaminen mukaan malliin sekä yrityksen johdannaisten alkuportfolion määrittely.

Pilottimallin tulosten perusteella voidaan todeta, että stokastista optimointimenetelmää soveltamalla voidaan löytää johdannaisportfolio, jonka mukainen liikevoiton kehitystä kuvaava skenaariopuu täyttäneen päätöksentekijän preferenssit.

## 7 Lähteet

### KIRJALLISET LÄHTEET:

Ainassaari, K. Kallio, M. & Ranne, A. 1997. *An Asset Management Model for a Pension Insurance Company*. Working Paper. Helsinki School of Economics.

Bazaraa, M.S. & Shetty, C.M. 1979. *Nonlinear Programming. Theory and Algorithms*. John Wiley & Sons.

Black, Fischer & Myron, S. Scholes. 1973. The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy*. May-June 1973. 637-659.

Black, Fischer & Karansinki, Piotr. 1991. Bond and Option Pricing when Short Rates are Lognormal. *Financial Analysts Journal*. July-August 1991. 52-59.

Dantzig, G.B. & Madansky, A. 1961. On the Solution of Two-Stage Linear Programs under Uncertainty. In Neyman, J. (ed.) *Proceedings, Fourth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*. Vol 1. 165-176.

Dembo, R. & Rosen, D. 1999. The Practice of Portfolio replication A Practical Overview of Forward and Inverse Problem. *Annals of Operations Research* 85. 267-284.

Hilli, P. Koivu, M. Pennanen, T. Ranne, A. 2003. *A Stochastic Programming Model for Asset Liability Management of a Finnish Pension Company*. Working Paper. Helsinki School of Economics.

Hull, John C. 1999. *Option, Futures, & other Derivatives 4<sup>th</sup> edition*. Prentice Hall.



Jauri, Osmo. 1997. *Riskienhallinta uudesta näkökulmasta*. Kauppakaari Oy.

Jorion, Philippe. 2002. *Value At Risk*. Mc Graw Hill.

L'Ecuyer, P & Lemieux, C. 2000. Variance Reduction via Lattice Rules. *Management Science* Vol. 46. No. 9. 1214-1235.

Mining Journal October 2002. *Modeling LME Prices*. 233.

Outokumpu Vuosikertomus 2002. Outokumpu Oyj.

Rockafellar, T. 1970. *Convex Analysis*. Princeton University Press.

Sartore, Trevisian, Trova & Volo. 2002. US dollar/Euro exchange rate: a monthly econometric model for forecasting. *The European Journal of Finance* December 2002. 480-501.

Sloman, John. 1999. *Economics 3<sup>rd</sup> edition*. Prentice Hall.

Von Neumann, J. & Morgenstern, O. 1947. *Theory of Games and Economic Behaviour*. 2<sup>nd</sup> edition. Princeton University Press, Princeton, N.J.

Ziemba, W.T & Mulvey, J.M. 1998. *Worldwide Asset and Liability Modeling*. Cambridge University Press.

## **INTERNET LÄHTEET:**

Dixit & Pindyck. 1994. *Geometric Ornstein-Uhlenbeck*.

<http://www.puc-rio.br/marco.ind/revers.html#mean-rev>. 7.4.2003.

Kanto, Antti 2002. *Riskienhallinnan ja vakuutustoiminnan historiaa*.

Luentomuistiinpanot HKKK syksy 2002.

<http://hkkk.fi/methods/30C130/Kanto.doc>. 4.4.2003.

<http://www.outokumpu.com/metallurgy/zigeneral.htm>. 4.4.2003.

## **HAASTATTELUT:**

Hakala, Juha. Vice President – Risk Management. Outokumpu Oyj.

22.1, 24.3, 14.4, 21.5. ja 16.6.2003.

## **HINTATIEDOT:**

Kauppalehti 3.1.2003.

<http://www.cme.com>. 20.4.2003.

<http://www.lme.com>. 20.4.2003.

<http://www.nordpool.com>. 20.4.2003.